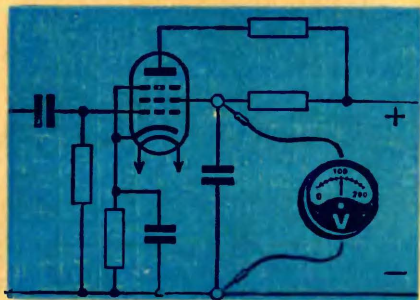


МАССОВАЯ  
**РАДИО-**  
БИБЛИОТЕКА



Г. А. СНИЦЕРЕВ

# ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ  
РАДИО

БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

---

Выпуск 85

Г. А. СНИЦЕРЕВ

# ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

*Рекомендовано Управлением технической подготовки  
Центрального комитета Всесоюзного совета  
добровольного общества содействия армии  
в качестве пособия для радиоклубов и радиокружков*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

---

*В книге описаны наиболее распространенные  
типы простых измерительных приборов, даны  
указания по расширению их пределов измерения,  
а также по использованию этих приборов при  
измерениях в радиоаппаратуре.*

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Измерение силы тока . . . . .	10
Измерение напряжения . . . . .	20
Градуйровка и проверка градуировки . . . . .	32
Системы измерительных приборов . . . . .	37
Измерение постоянных напряжений в радиоаппаратуре . . . . .	43
Измерение постоянного тока в радиоаппаратуре . . . . .	59
Измерение электрических сопротивлений . . . . .	65
Определение величины внутреннего сопротивления и предела измерения по току . . . . .	77
Заключение . . . . .	80

---

Редактор *Д. А. Конашинский*

Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 8 VIII 1950 г.

Подписано к печати 5 XI 1950 г.

Бумага 84×108<sup>1</sup>/<sub>2</sub> мм=2,5 бумажных—8,20 п. л. 5 уч.-изд. л.

Заказ 2897.

T-CT98P.

Тираж 50 000 экз.

Цена 2 р. 50 к.

---

Набрано в типографии Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

---

Отпечатано в 2-й типографии «Красный пролетарий» Главполиграфиздата при Совете Министров СССР. Москва, Краснопролетарская, 16.

## ВВЕДЕНИЕ

**Назначение электроизмерительных приборов.** Налаживание и ремонт радиоаппаратуры и экспериментирование с ней обычно сопровождаются разного рода электрическими измерениями.

Измерить какую-нибудь величину — значит сравнить ее с другой подобного же рода величиной, принятой за единицу. Измеряя, например, напряжение, мы сравниваем его величину с единицей напряжения — вольт, измерение силы тока состоит в сравнении ее величины с единицей силы тока — ампером и т. д.

Измерения электрических величин производятся электроизмерительными приборами. Приборы, предназначенные для измерения силы тока, называются **амперметрами**. Измерение тысячных долей ампера производится **миллиамперметрами**. Приборы, измеряющие миллионные доли ампера, называются **микроамперметрами**. Приборы, предназначенные для измерения напряжения, называются **вольтметрами**. Напряжения свыше 1000 в измеряются **киловольтметрами**; тысячные доли вольта измеряются **милливольтметрами**. Измерение сопротивлений производится **омметрами**.

В электроизмерительных приборах для измерения какой-нибудь из электрических величин используются различные проявления электрического тока. Так, например, свойство тока создавать магнитное поле вокруг проводника, по которому он проходит, используется при устройстве приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем; свойство тока при прохождении по проводнику выделять в нем тепло используется для устройства приборов тепловой системы и т. д. Эти проявления электрического тока преобразуются в механизме прибора в механическое перемещение указателя значения измеряемой величины. Таким указателем в подавляющем большинстве случаев служит

стрелка, вращающаяся на оси так, что конец ее перемещается над шкалой с делениями. В практике такие приборы получили название стрелочных приборов.

**Внешнее оформление приборов.** Механизм прибора для предохранения его от механических повреждений и пыли помещают в специальный футляр (кожух). В зависимости от назначения и конструкции прибора кожухи могут быть различной формы и выполняться из различных материалов. Отсчет показаний прибора производится через проделанную в кожухе застекленную прорезь, за которой расположена шкала и перемещающаяся над ней стрелка. Подключение прибора к измеряемой цепи производится через укрепленные на нем специальные зажимы или гнезда.

Почти все стрелочные приборы снабжаются приспособлением (корректором), позволяющим устанавливать стрелку точно на нулевое деление шкалы. Так как стрелка прибора довольно часто смещается с нулевого деления, то перед измерениями всегда нужно проверить ее положение и в случае смещения установить ее с помощью корректора над нулевым делением шкалы. Поворачивание корректора производится обычно отверткой.

**Шкалы приборов и цена деления шкалы.** Показания стрелочного прибора отсчитываются по его шкале. Деления на шкалах наносятся обычно в значениях той величины, для измерения которой приборы предназначены: вольтах, амперах, омах и т. д. В зависимости от системы прибора деления на его шкале могут располагаться либо на одинаковом расстоянии друг от друга (равномерная шкала), либо не на одинаковом (неравномерная шкала). Чем равномернее шкала, тем больше точность отсчета по ней.

Каждому промежутку между двумя соседними делениями на шкале соответствует вполне определенное значение измеряемой величины, называемое ценой деления шкалы. На фиг. 1 показана шкала вольтметра для измерения напряжений до 3 в. Шкала разбита на 30 делений, следовательно, каждому делению соответствует напряжение  $3:30=0,1$  в, которое и является ценой деления данной шкалы.

**Отсчет показаний по шкале. Зеркальная шкала.** Значение измеряемой величины указывается на шкале стрелкой. Если стрелка устанавливается между делениями, положе-

ние ее в этом случае оценивается приблизительно, в долях цены деления. Так, например, показания прибора на фиг. 1 следует прочесть как 1,55 в. При отсчете показаний глаз всегда нужно располагать так, чтобы луч зрения падал перпендикулярно к шкале и непосредственно на конец стрелки, так как при рассматривании стрелки сбоку конец ее будет казаться смещенным, и отсчет будет сделан неверно. Чтобы избежать этого, в шкалах точных приборов возле делений, обычно под ними, делается вырез, через который видно зеркало. Такие шкалы называются **зеркальными**. Стрелка у приборов с зеркальной шкалой имеет ножевидную форму и повернута ребром к шкале. Отсчет по зеркальной шкале делается так, чтобы стрелка закрывала свое изображение в зеркале,—в этом случае глаз всегда будет расположен непосредственно над стрелкой, и ошибка будет исключена.



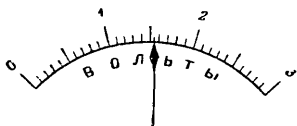
Фиг. 1. Шкала вольтметра с зеркальной шкалой в 0,1 в.

На шкале, кроме делений, наносятся также данные, характеризующие прибор: назначение, система, род измеряемого тока и т. д.

**Точность измерений.** При любых измерениях нельзя получить значение измеряемой величины, совершенно точно совпадающее с истинным значением этой величины. Пусть, например, при измерениях напряжения стрелка вольтметра отклонилась так, как это показано на фиг. 1. Спрашивается, какую величину напряжения показывает вольтметр? Посмотрев на шкалу, можно сказать, что величина этого напряжения **приблизительно** равна 1,55 в, но сказать, что она равна **точно** 1,55 в, нельзя, потому что наш глаз не в состоянии определить, отклонилась ли стрелка точно до половины малого деления или немного больше, или меньше половины этого деления. Таким образом, благодаря несовершенству нашего зрения, мы при отсчете измеряемой величины всегда можем сделать ошибку.

Другой источник ошибок при измерениях — это несовершенство самого измерительного прибора. Например, шкала прибора, изображенная на фиг. 1, не имеет зеркала, поэтому при отсчете показаний по ней мы не можем быть уверены, что не делаем ошибки за счет кажущегося сме-

ние ее в этом случае оценивается приблизительно, в долях цены деления. Так, например, показания прибора на фиг. 1 следует прочесть как 1,55 в. При отсчете показаний глаз всегда нужно располагать так, чтобы луч зрения падал перпендикулярно к шкале и непосредственно на конец стрелки, так как при рассматривании стрелки сбоку конец ее будет казаться смещенным, и отсчет будет сделан неверно. Чтобы избежать этого, в шкалах точных приборов возле делений, обычно под ними, делается вырез, через который видно зеркало. Такие шкалы называются **зеркальными**. Стрелка у приборов с зеркальной шкалой имеет ножевидную форму и повернута ребром к шкале. Отсчет по зеркальной шкале делается так, чтобы стрелка закрывала свое изображение в зеркале,—в этом случае глаз всегда будет расположен непосредственно над стрелкой, и ошибка будет исключена.



Фиг. 1. Шкала вольтметра с зеркальной шкалой в 0,1 в.

На шкале, кроме делений, наносятся также данные, характеризующие прибор: назначение, система, род измеряемого тока и т. д.

**Точность измерений.** При любых измерениях нельзя получить значение измеряемой величины, совершенно точно совпадающее с истинным значением этой величины. Пусть, например, при измерениях напряжения стрелка вольтметра отклонилась так, как это показано на фиг. 1. Спрашивается, какую величину напряжения показывает вольтметр? Посмотрев на шкалу, можно сказать, что величина этого напряжения приблизительно равна 1,55 в, но сказать, что она равна точно 1,55 в, нельзя, потому что наш глаз не в состоянии определить, отклонилась ли стрелка точно до половины малого деления или немного больше, или меньше половины этого деления. Таким образом, благодаря несовершенству нашего зрения, мы при отсчете измеряемой величины всегда можем сделать ошибку.

Другой источник ошибок при измерениях — это несовершенство самого измерительного прибора. Например, шкала прибора, изображенная на фиг. 1, не имеет зеркала, поэтому при отсчете показаний по ней мы не можем быть уверены, что не делаем ошибки за счет кажущегося сме-

погрешности первого и второго измерений одинаковы. Спрашивается, одинаково ли для первого и второго измерений значение этих погрешностей? Для ответа на этот вопрос определим величины относительных погрешностей этих измерений. Для напряжения 250 в относительная погрешность равна  $\frac{1 \cdot 100}{250} = 0,4\%$ , а для напряжения 6,3 в —  $\frac{1 \cdot 100}{6,3} = 16\%$ .

Полученные величины относительных погрешностей показывают, что при измерении напряжения в 250 в ошибка на 1 в никакого практического значения не имеет и ею можно пренебречь, так как она составляет всего лишь 0,4% от измеряемого напряжения. При измерении же напряжения в 6,3 в ошибкой на 1 в пренебрегать нельзя, так как она составляет уже 16% от измеряемого напряжения, и очевидно, что пользоваться прибором, который применялся при этих измерениях, нельзя.

**Точность приборов.** Точность измерений зависит главным образом от точности приборов, которыми эти измерения производятся. Под точностью прибора понимают степень совпадения получаемых с ним результатов измерения с истинным значением измеряемой величины. Численно точность прибора определяют величиной наибольшей его погрешности, выраженной в процентах от наибольшего значения величины, измеряемой данным прибором. Предположим, измеряя напряжения, величины которых нам точно известны, мы установили, что данный вольтметр со шкалой на 5 в вместо напряжений в 3, 4 и 5 в показал соответственно 2,95; 3,98 и 4,99 в. Наибольшая погрешность (0,05 в) получилась при измерении напряжения в 3 в. Так как наибольшее напряжение, которое может быть измерено этим прибором, равно 5 в, то, следовательно, точность его равна  $0,05 : 5 = 0,01$ , или 1%.

Согласно стандарту все электроизмерительные приборы разделяются на 5 классов точности: 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5. Эти цифры показывают наибольшую погрешность, которую может давать прибор того или иного класса, выраженную в процентах от наибольшего значения измеряемой им величины. Эта погрешность может быть как в сторону больших, так и меньших значений, т. е. прибор может давать как преувеличенные, так и преуменьшенные показания.

Приборы класса 0,2 и 0,5 применяются для точных лабораторных и контрольных измерений. Технические изме-



рения (в том числе и измерения при налаживании и ремонте радиоаппаратуры) производятся обычно приборами класса 1,0 и 1,5, приборы класса 2,5 применяются только как указательные (индикаторы). Приборы с еще меньшей точностью являются внеклассными и применяются только как индикаторы. Класс точности прибора указывается на его шкале внизу справа.

Зная класс точности прибора, всегда можно заранее определить величину погрешности, которая получится при измерениях этим прибором. Например, пусть имеется миллиамперметр класса 2,5 со шкалой на 30 *ма*. Это значит, что при измерениях этим миллиамперметром наибольшая погрешность не будет превышать 2,5% от 30 *ма*, или

$$\frac{30 \cdot 2,5}{100} = 0,75 \text{ ма.}$$
 Такая погрешность (0,75 *ма*) получит-

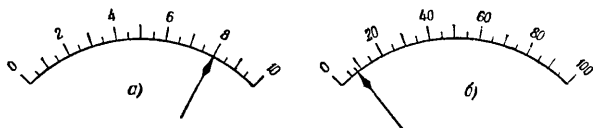
ся как при измерении тока в 30 *ма*, так и тока в 3 *ма*. Для тока в 30 *ма* погрешность в 0,75 *ма* составляет 2,5%, для тока же в 3 *ма*, погрешность в 0,75 *ма* составит уже 25%. Отсюда следует, что относительная погрешность измерения получается тем больше, чем меньше угол отклонения стрелки. Следовательно, измерения желательно всегда производить такими приборами, у которых под действием измеряемой величины стрелка отклонялась бы по возможности на всю шкалу. Недопустимо, например, измерять напряжение в 1 *в* вольтметром со шкалой на 50 *в*, так как ошибка при этом, даже при пользовании прибором класса 0,2, может достигать 10%.

**Чувствительность приборов.** Возможность измерения данным прибором больших или меньших величин оценивается его чувствительностью. Чем больше чувствительность прибора, тем меньшие величины можно им измерять.

Численно чувствительность оценивается отношением приращения угла отклонения стрелки прибора к приращению измеряемой величины, вызвавшей это отклонение: чем больше приращение угла отклонения, тем прибор чувствительнее. Так, например, вольтметр, угол поворота стрелки которого при увеличении измеряемого напряжения на 1 *в* увеличился на 0,2 части шкалы, чувствительнее вольтметра, у которого при таком же изменении напряжения угол поворота увеличился только на 0,1 часть шкалы.

Понятия чувствительности и точности часто смешивают, называя чувствительный прибор точным. Эти понятия ни в какой связи между собой не находятся: у чувствительных приборов отклонение стрелки происходит под действием очень малых токов или напряжений, причем показания этих приборов могут значительно отличаться от истинного значения этих величин и, следовательно, оказаться недостаточно точными, и наоборот, — показания малочувствительного прибора могут хорошо совпадать с истинным значением измеряемой им величины и он, следовательно, окажется более точным.

**Пределы измерений.** Значение измеряемой величины, при котором стрелка прибора отклоняется до конца шкалы, называется пределом измерения этого прибора. Например,



Фиг. 2. Отклонение стрелки при измерении напряжения 8 в.  
 а — у вольтметра с пределом измерения 10 в; б — у вольтметра с пределом измерения 100 в.

предел измерения вольтметра, шкала которого изображена на фиг. 1, равен 3 в.

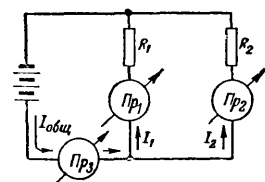
Предел измерения прибора не должен значительно отличаться от измеряемой величины, так как в этом случае, как мы уже знаем, относительная погрешность измерения будет наименьшей и, кроме того, отсчет по шкале может быть произведен более точно. Так, например, напряжение в 8 в может быть измерено как вольтметром со шкалой на 10 в, так и со шкалой на 100 в. Точность отсчета этого напряжения будет более высокой при пользовании вольтметром со шкалой на 10 в, так как при этом на каждый вольт будет приходиться по два деления шкалы (фиг. 2,а), в то время как у вольтметра со шкалой на 100 в — только одна пятая часть деления (фиг. 2,б).

**Внутреннее сопротивление измерительных приборов.** Устройство большинства измерительных приборов таково, что их стрелки перемещаются тогда, когда через прибор проходит ток, при этом большему току соответствует

и большее перемещение стрелки; следовательно, по величине перемещения стрелки можно судить о величине тока через прибор. Измерительный прибор, таким образом, является проводником электрического тока и как всякий проводник обладает определенным сопротивлением, величина которого зависит от конструкции и назначения прибора. Это сопротивление называется внутренним сопротивлением прибора.

## ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

**Включение прибора для измерения силы тока.** Для измерения силы тока в какой-нибудь цепи прибор включается в эту цепь последовательно (фиг. 3). Проходящий по цепи ток будет в этом случае проходить и через прибор. Следовательно, о величине тока в цепи можно судить по углу отклонения стрелки прибора.



Фиг. 3. Включение приборов для измерения токов. На схеме показано включение приборов для измерения тока в каждой из ветвей цепи ( $\Pi p_1$  и  $\Pi p_2$ ) и общего тока, отдаваемого батареей во внешнюю цепь ( $\Pi p_3$ ).

Если внутреннее сопротивление прибора при этом будет велико, то включение его заметно уменьшит ток в цепи (так как общее сопротивление ее увеличится) и прибор покажет силу тока меньше той величины, которая была бы в цепи при отсутствии прибора.

**Пример.** Пусть имеется цепь, составленная из источника тока с напряжением  $U=3$  в и сопротивления  $R=6$  ом (фиг. 4, а). Какой ток в этой цепи покажет прибор, внутреннее сопротивление которого  $R_{пр}=1$  ом?

Определим сначала ток в цепи при отсутствии в ней прибора:

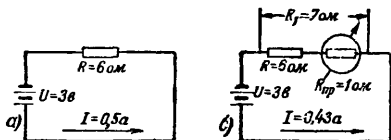
$$I = \frac{U}{R} = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ а.}$$

При включении в цепь прибора сопротивление цепи увеличится на 1 ом и станет равным  $R_1=7$  ом (фиг. 4,б). Следовательно, ток в цепи будет равен:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{3}{7} \approx 0,43 \text{ а;}$$

этот ток и покажет прибор.

Мы видим, что включение прибора в цепь уменьшает ток в ней с  $0,5 \text{ а}$  до  $0,43 \text{ а}$ . Читатель легко может убедиться, что прибор с внутренним сопротивлением в  $0,1 \text{ ом}$  изменит ток в цепи значительно меньше и прибор покажет в этом случае  $0,492 \text{ а}$ . Это показание уже значительно ближе совпадает с действительно существующей в цепи (без прибора) силой тока. Отсюда следует, что чем меньше внутреннее сопротивление прибора, измеряющего силу тока, тем меньше включение его будет изменять сопротивление цепи и ток в ней, т. е. тем ближе будут показания прибора к действительности.



Фиг. 4.

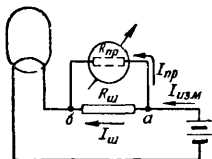
*а*—цепь состоит из источника тока с напряжением  $U=3 \text{ в}$  и сопротивления  $R=6 \text{ ом}$ ; *б*—общее сопротивление цепи, после включения в нее прибора стало равным  $R_с=7 \text{ ом}$ .

Выше мы уже говорили, что приборы для измерения силы тока называются амперметрами, более слабые токи измеряются миллиамперметрами и микроамперметрами. Все эти приборы обладают очень небольшим внутренним сопротивлением, так как они предназначены только для последовательного включения в цепь. Подключение любого из них непосредственно к зажимам источника тока (батареи, аккумулятора, сети) влечет неминуемую гибель прибора, так как при этом через него пройдет чрезмерно большой ток.

**Расширение пределов измерения по току.** В практике часто приходится измерять токи, превышающие предел измерения имеющегося, например, амперметра. В этом случае предел измерения прибора расширяют подключением к нему шунта.

Шунт представляет собой подключенное параллельно прибору сопротивление. Прибор с присоединенным к нему шунтом включается в цепь как и обычный амперметр, т. е.

последовательно (фиг. 5). Проходящий по цепи ток, дойдя до точки *a*, разделится на две части: одна часть ( $I_{ш}$ ) пойдет через шунт, а другая ( $I_{пр}$ ) — через прибор. Изменяя сопротивление шунта, мы будем изменять соотношение между этими частями: чем меньше сопротивление шунта по сравнению с внутренним сопротивлением прибора, тем большая часть общего тока цепи пройдет через шунт, и наоборот. Шунт, следовательно, дает возможность измерять прибором не весь ток в цепи, а только часть его, которую можно взять любой, подбирая для этого соответствующее сопротивление шунта. Зная, какая часть общего тока цепи проходит при данном шунте через прибор, и зная (по показаниям прибора) величину этой части тока, легко определить и весь ток в цепи.



Фиг. 5. Измерение тока накала лампы прибором с шунтом.

### Расчет сопротивления шунта.

Сопротивление шунта всегда подбирается так, чтобы через него проходил ток, равный избытку над пределом измерения прибора. Если, например, прибором с пределом измерения  $1\text{ а}$  нужно измерить ток  $10\text{ а}$ , то сопротивление шунта нужно подобрать так, чтобы через него проходил ток  $10 - 1 = 9\text{ а}$ . Прибор при этом будет показывать ток  $1\text{ а}$  при токе в цепи  $10\text{ а}$ ;  $0,5\text{ а}$  при токе в цепи  $5\text{ а}$ ,  $0,1\text{ а}$  при токе в цепи  $1\text{ а}$  и т. д.

Необходимая величина сопротивления шунта определяется по следующей формуле:

$$R_{ш} = \frac{R_{пр}}{\frac{I_{узм}}{I_{пр}} - 1},$$

где  $R_{ш}$  — сопротивление шунта;

$R_{пр}$  — внутреннее сопротивление прибора;

$I_{пр}$  — предел измерения прибора;

$I_{узм}$  — требуемый предел измерения прибора.

Величины токов, как и величины сопротивлений, могут подставляться в эту формулу в любых, но обязательно одинаковых единицах (если  $I_{пр}$  выражен в *ма*, то и  $I_{узм}$  нужно тоже выражать в *ма*, если  $R_{пр}$  выражено в *омах*, то и  $R_{ш}$  тоже получится в *омах*, и т. п.).

**Пример.** Прибором с пределом измерения  $I_{np} = 1 \text{ ма}$  требуется измерять ток до  $I_{изм} = 1 \text{ а}$ . Определить сопротивление шунта, если внутреннее сопротивление прибора  $R_{np} = 50 \text{ ом}$ .

Пользуясь приведенной выше формулой и выражая  $I_{изм}$  в миллиамперах ( $I_{изм} = 1000 \text{ ма}$ ), находим:

$$R_{ш} = \frac{R_{np}}{\frac{I_{изм}}{I_{np}} - 1} = \frac{50}{\frac{1000}{1} - 1} = 0,05005 \text{ ом} \approx 0,05 \text{ ом}.$$

При таком сопротивлении шунта стрелка прибора отклонится на всю шкалу при токе в цепи  $1 \text{ а}$ ; при этом через прибор пройдет ток  $1 \text{ ма}$ , а через шунт —  $999 \text{ ма}$ . Для измерения этим прибором еще большей силы тока через шунт нужно было бы пропустить еще большую часть этого тока, следовательно, сопротивление шунта нужно было бы еще уменьшить. Так, например, для измерения тока в  $5 \text{ а}$  сопротивление шунта пришлось бы сделать равным  $0,0102 \text{ ом}$ , в чем читатель может легко убедиться, проделав расчет, подобный приведенному выше.

**Конструктивное выполнение шунтов.** Шунты чаще всего изготавливаются из провода. Величина сопротивления шунта не должна зависеть от изменения температуры, поэтому наиболее подходящим материалом для их изготовления являются манганин и константан. Сечение провода для шунта подбирается так, чтобы плотность тока в нем не превышала  $1\text{--}1,5 \text{ а/мм}^2$ ; при большей плотности тока шунт будет нагреваться, и сопротивление его будет меняться.

Необходимый диаметр провода может быть определен по формулам:

$$d = 1,13 \sqrt{I_{ш}}, \text{ при плотности тока в } 1 \text{ а/мм}^2$$

$$\text{и } d = 0,92 \sqrt{I_{ш}}, \text{ при плотности тока в } 1,5 \text{ а/мм}^2,$$

где  $d$  — искомый диаметр провода в  $\text{мм}$  и  $I_{ш}$  — сила тока через шунт в  $\text{а}$ .

Длина провода определяется по формуле

$$l = 0,785 \frac{R_{ш} \cdot d^2}{\rho},$$

где  $l$  — длина провода в  $\text{м}$ ;

$R_{ш}$  — сопротивление шунта в  $\text{ом}$ ;

$d$  — диаметр провода шунта в  $\text{мм}$ ;

$\rho$  — удельное сопротивление материала шунта (табл. 1).

**Пример.** Рассчитаем длину и диаметр провода для шунта с сопротивлением  $R_{ш} = 0,05 \text{ ом}$ , через который должен проходить ток  $I_{ш} = 999 \text{ ма} = 0,999 \text{ а}$  (см. предыдущий пример).

Задаваясь плотностью тока в  $1 \text{ а/мм}^2$ , находим:

$$d = 1,13 \sqrt{I_{ш}} = 1,13 \sqrt{0,999} \approx 1,13 \text{ мм.}$$

В качестве материала для намотки используем манганин ( $\rho = 0,43$ ). Манганиновый провод с диаметром в  $1,13 \text{ мм}$  не изготавлиется, поэтому выбираем ближайший больший диаметр провода  $d = 1,2 \text{ мм}$ . Пользуясь приведенной выше формулой, находим:

$$l = 0,785 \frac{R_{ш} \cdot d^2}{\rho} = 0,785 \frac{0,05 \cdot 1,2^2}{0,43} \approx 0,131 \text{ м, или } 131 \text{ мм.}$$

Действительно, необходимая длина провода может несколько отличаться от рассчитанной, так как величина удельного сопротивления проводов, выпускаемых различными заводами, не всегда точно совпадает с указанной в табл. 1. Поэтому окончательную подгонку шунта к прибору необходимо сделать при сверке показаний этого прибора с показаниями другого достаточно точного прибора. Если при проверке стрелка прибора с шунтом выходит за пределы шкалы (при установке по точному прибору силы тока, равной пределу измерения прибора с шунтом), сопротивление шунта нужно

ТАБЛИЦА 1

**Удельное сопротивление различных проводников**

Величина удельного сопротивления проводов, выпускаемых различными заводами, может несколько отличаться от указанной в таблице

Материал	Удельное сопротивление $\rho$
Нихром . . . . .	1,0
Константан . . . . .	0,51
Реотан . . . . .	0,49
Манганин . . . . .	0,43
Никелин . . . . .	0,42

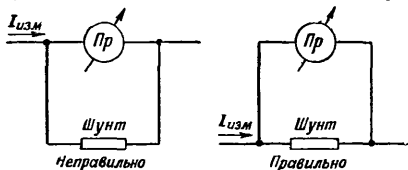
уменьшать, если стрелка не доходит до последнего деления шкалы,—увеличивать.

Намотка шунтов производится на каркас из изоляционного материала. Часто

в качестве каркасов используются сопротивления типа ВС, СС и т. п., к выводам которых подпаиваются концы шунта. В этом случае нужно иметь в виду, что используемое для каркаса сопротивление оказывается присоединенным параллельно шунту. Поэтому перед намоткой провода на такой каркас лучше всего счистить с этого каркаса проводящий слой или использовать сопротивления, по своей величине во много раз превышающие сопротивления шунта.

Шунты из достаточно толстого провода часто выполняются в виде спиралей без всякого каркаса.

**Монтаж шунтов.** Если прибор вместе с шунтом предназначается для измерения сравнительно небольшого тока (порядка нескольких ампер), шунт может монтироваться непосредственно на зажимах прибора. Часто такие шунты помещаются внутри кожуха прибора. Шунты на большой ток (десятки ампер) монтируются отдельно от прибора, потому что проходящий через шунт ток создает сильное магнитное поле, влияющее на показания прибора. Соединение прибора с таким выносным шунтом производится



Фиг. 6. Как включается в цепь прибор с шунтом.

соединительными проводами. При значительной длине или небольшом сечении этих проводов величина их сопротивления может оказаться сравнимой с сопротивлением шунта, и в этом случае прибор будет давать неверные показания. Поэтому окончательная подгонка выносного шунта всегда делается вместе с его соединительными проводами путем сверки показаний прибора с выносным шунтом с показаниями другого (образцового) прибора. В дальнейшем при измерениях соединение прибора с шунтом производится только этими проводами.

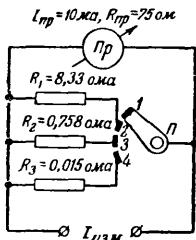
При включении прибора с шунтом в цепь провода цепи должны подводиться к шунту, а не к прибору (фиг. 6). При подведении проводов цепи к прибору (а не к шунту) при случайном отсоединении шунта весь ток цепи пойдет через прибор, что приведет к его немедленной гибели.

Следует обращать особое внимание на надежность соединения шунта с прибором: ненадежные контакты служат причиной неправильности показаний прибора.

**Многопредельные приборы для измерения силы тока.** Часто приборы снабжаются не одним шунтом, а целым набором их. Изменяя переключением этих шунтов предел из-



мерения прибора, можно одним таким прибором измерять как малые, так и большие токи. Такие приборы называются многопредельными или многошкальными. Большим их преимуществом является то, что, переключая такой прибор на соответствующий предел, мы получаем возможность производить измерения при отклонении стрелки почти на всю шкалу, обеспечивая этим наибольшую точность отсчета и наименьшую относительную погрешность измерений.



Фиг. 7. Схема четырех-предельного прибора для измерения токов.

На фиг. 7 приведена схема четырехпредельного прибора, в которой использован миллиамперметр с пределом измерения, или, как еще говорят, со шкалой на 10 ма. Измеряемый ток подводится к зажимам « $I_{изм}$ ». Для измерения тока не свыше 10 ма прибор включается в цепь без всяких шунтов, для чего переключатель  $\Pi$  ставится в положение 1 (на холостой контакт). При установке переключателя в положение 2 параллельно прибору присоединяется шунт  $R_1$ , благодаря кото-

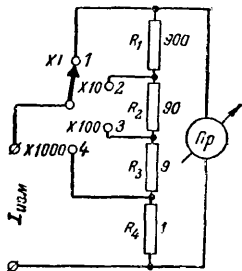
рому предел измерения прибора расширяется до 100 ма. При переводе переключателя в положение 3 предел измерения прибора расширяется до 1 а, а шунт, подключаемый к прибору при переводе переключателя в положение 4, расширяет предел измерения до 5 а.

Переключатель  $\Pi$  такого прибора обязательно должен быть устроен так, чтобы ползунок его в момент переключения шунтов замыкал между собою два соседних контакта. Если ползунок будет становиться между контактами и не замыкать их, прибор выйдет из строя, так как в этот момент все шунты окажутся отключенными от прибора и весь ток цепи пройдет непосредственно через прибор. Разумеется, что ползунок всегда должен надежно соединяться с контактом, так как в противном случае также неизбежен выход прибора из строя.

**Универсальный шунт.** На фиг. 8 приведена схема четырехпредельного прибора с так называемым универсальным шунтом. Особенность этого шунта состоит в том, что если его полное сопротивление значительно превышает

внутреннее сопротивление прибора, изменение пределов измерения, получающееся при переключении сопротивлений шунта, будет зависеть только от соотношения между величинами этих сопротивлений и не будет зависеть от величины внутреннего сопротивления прибора. Поэтому один и тот же шунт, будучи присоединенным к различным приборам, будет изменять предел их измерения в одинаковое количество раз. Если, например, с помощью такого универсального шунта пределы измерения прибора со шкалой на 1 *ма* расширяются до 10, 100 и 500 *ма*, то пределы измерения прибора со шкалой на 5 *ма* при присоединении к нему этого же шунта будут расширяться до 50, 500 и 2 500 *ма*.

Универсальный шунт состоит из нескольких последовательно соединенных между собою сопротивлений. Общая величина их должна примерно в 10—20 раз превышать величину внутреннего сопротивления приборов, к которым предполагается подсоединять этот шунт. Поэтому при установке переключателя на первый контакт ( $\times 1$  на фиг. 8) весь измеряемый ток практически будет проходить через прибор, так как внутреннее сопротивление его много меньше сопротивления шунта. Следовательно, при этом положении переключателя величина измеряемого тока не должна превышать предела измерения прибора по току. В изображенной на фиг. 8 схеме величины сопротивлений шунта подобраны так, что при установке переключателя в положение  $\times 10$  через прибор и сопротивление  $R_1$ , которое в этом случае оказывается последовательно соединенным с ним, будет проходить одна десятая часть измеряемого тока, а девять десятых — через последовательно включенные сопротивления  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ . Следовательно, при этом положении переключателя предел измерения прибора расширяется в 10 раз. Подобным же образом при установке переключателя в положение  $\times 100$  и  $\times 1000$  предел измерения прибора расширяется соответственно в 100 и 1 000 раз.



Фиг. 8. Схема прибора с универсальным шунтом.

По такому же принципу может быть выполнен шунт, дающий возможность изменять пределы измерения прибора в любое требуемое число раз.

**Расчет универсального шунта.** Для расчета сопротивлений универсального шунта нужно заранее задаться величиной его полного сопротивления, которая, как мы уже говорили, должна в 10—20 раз превышать внутреннее сопротивление приборов, к которым предполагается присоединять этот шунт. Обозначим величину полного сопротивления шунта через  $R_{ш}$ . Далее должны быть заданы пределы измерения, которые нужно получить при установке переключателя на каждый из контактов. Обозначим через  $I_1$  предел измерения при установке переключателя на контакт 1 (этот предел всегда равен пределу измерения прибора, к которому присоединяется универсальный шунт), через  $I_2$  — при установке на контакт 2, через  $I_3$  — на контакт 3 и т. д. Тогда величины всех сопротивлений шунта, кроме последнего, предназначенного для установки на самый большой предел (в нашем случае —  $R_4$ ), можно подсчитать по следующим формулам:

$$R_1 = R_{ш} - \frac{I_1}{I_2} \cdot R_{ш}; \quad R_2 = R_{ш} - R_1 - \frac{I_1}{I_3} \cdot R_{ш};$$

$$R_3 = R_{ш} - R_1 - R_2 - \frac{I_1}{I_4} \cdot R_{ш}.$$

Величина последнего сопротивления  $R_4$  подсчитывается по формуле

$$R_4 = R_{ш} - R_1 - R_2 - R_3.$$

При необходимости изготовить шунт на большее количество пределов величины остальных сопротивлений рассчитываются по формулам, аналогичным приведенным выше. Так, например, для шестипредельного шунта величины сопротивлений должны рассчитываться по формулам

$$R_4 = R_{ш} - R_1 - R_2 - R_3 - \frac{I_1}{I_5} \cdot R_{ш};$$

$$R_5 = R_{ш} - R_1 - R_2 - R_3 - R_4 - \frac{I_1}{I_6} \cdot R_{ш};$$

$$R_6 = R_{ш} - R_1 - R_2 - R_3 - R_4 - R_5.$$

Величины токов и сопротивлений можно подставлять в эти формулы в любых, но обязательно одинаковых единицах (так же, как в формулу в разделе «Расчет сопротивления шунта»).

**Пример.** К миллиамперметру с пределом измерения в 1 *ма* и внутренним сопротивлением в 100 *ом* требуется рассчитать универсальный шунт, дающий возможность при установке переключателя на контакт 1 измерять ток  $I_1 = 1$  *ма*, на контакт 2 —  $I_2 = 5$  *ми* и на контакт 3 —  $I_3 = 10$  *ма*.

Шунт, следовательно, должен быть составлен всего из трех сопротивлений (фиг. 9).

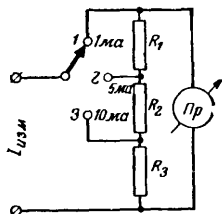
Зададимся величиной полного сопротивления шунта  $R_{ш} = 1\,000$  *ом*.

Тогда сопротивления, из которых должен быть составлен этот шунт, будут равны:

$$R_1 = R_{ш} - \frac{I_1}{I_2} \cdot R_{ш} = 1\,000 - \frac{1}{5} \cdot 1\,000 = 800 \text{ ом};$$

$$R_2 = R_{ш} - R_1 - \frac{I_1}{I_3} \cdot R_{ш} = 1\,000 - 800 - \frac{1}{10} \cdot 1\,000 = 100 \text{ ом};$$

$$R_3 = R_{ш} - R_1 - R_2 = 1\,000 - 800 - 100 = 100 \text{ ом}.$$



Фиг. 9. Прибор с универсальным шунтом на три предела измерения.

Предел измерения прибора с этим шунтом при установке на контакт 2 будет расширен в 5 раз, а при установке на контакт 3 — в 10 раз. В такое же количество раз расширится предел измерения и любого другого прибора, к которому будет подсоединен этот шунт.

**Шкала многопредельного прибора.** При пользовании многопредельными приборами нужно помнить, что цена деления шкалы прибора при переходе от одного предела измерения к другому изменяется. Поэтому при определении измеряемой величины показания прибора нужно умножать на число, показывающее, во сколько раз изменилась цена деления шкалы при установке прибора на данный предел измерения. Так, например, для шкалы прибора, схема которого приведена на фиг. 7, цена деления при установке переключателя в положение 1 равна 0,5 *ма*. При установке переключателя в положение 2 предел измерения прибора расширяется в 10 раз и становится равным 100 *ма*. Цена деления шкалы при этом тоже увеличивается в 10 раз и становится равной 5 *ма*. Следовательно, для определения

величины измеряемого тока при этом пределе измерения показания прибора нужно умножать на 10. Подобным же образом определение величины измеряемого тока при установке переключателя в положения 3 и 4 производится умножением показаний прибора соответственно на 100 и 500.

Часто на шкалах многопредельных приборов наносится несколько рядов цифр, каждый из которых соответствует определенному пределу измерений. Примерный вид такой шкалы (для прибора, схема которого приведена на фиг. 7) показан на фиг. 10.



Фиг. 10. Шкала многопредельного прибора.

Во избежание ошибок при отсчете показаний нужно всегда обращать внимание, на какой предел измерения установлен прибор.

При включении многошкального прибора в цепь, величина силы тока в которой неизвестна, переключатель во избежание порчи прибора должен быть установлен на самый большой предел измерения. Только после определения величины силы тока в цепи при этом положении переключателя прибор можно переключить на наиболее подходящий для ее измерения предел (при котором стрелка отклоняется почти на всю шкалу).

## ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

**Включение прибора для измерения напряжения.** На фиг. 11 показано подключение приборов для измерения напряжений на различных участках цепи. Как видно, приборы подключаются параллельно тем точкам, между которыми нужно измерить разность потенциалов (напряжение). Под действием этой разности потенциалов через прибор пройдет ток, который вызовет соответствующее отклонение

стрелки, и по величине этого отклонения можно судить и о величине разности потенциалов между точками, к которым подключен прибор: чем она больше, тем больший ток пройдет через прибор, тем больше будет и отклонение стрелки, и наоборот. Если внутреннее сопротивление подключаемого параллельно данному участку цепи прибора будет мало по сравнению с сопротивлением участка, то подключение такого прибора заметно уменьшит величину общего сопротивления между точками присоединения прибора, вследствие чего напряжение между этими точками также уменьшится. Это пониженное напряжение и покажет прибор.

**Пример.** Через сопротивление  $R = 10\,000\text{ ом}$  проходит ток  $I = 3\text{ ма}$ . Требуется измерить падение напряжения на этом сопротивлении (разность потенциалов на концах сопротивления  $R$ ).

В нашем распоряжении имеется прибор с внутренним сопротивлением  $R_{np} = 5\,000\text{ ом}$ .

Нас интересует напряжение между точками  $a$  и  $b$  (фиг. 12); следовательно, к этим точкам мы и должны подключить прибор. До его подключения сопротивление между этими точками было равно  $10\,000\text{ ом}$ . Подключив к ним прибор, мы тем самым присоединили параллельно этому сопротивлению еще сопротивление прибора  $R_{np} = 5\,000\text{ ом}$  (фиг. 13). Следовательно, общее сопротивление между точками  $a-b$  будет равно

$$R_{\text{общ}} = \frac{R \cdot R_{np}}{R + R_{np}} = \frac{10\,000 \cdot 5\,000}{15\,000} \approx 3\,300\text{ ом}.$$

Если поддерживать силу тока в общей цепи неизменной, то напряжение между точками  $a$  и  $b$  будет:

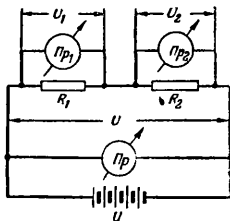
$$U = \frac{I_{\text{ма}} \cdot R_{\text{общ. ом}}}{1\,000} = \frac{3 \cdot 3300}{1\,000} \approx 10\text{ в}.$$

Это напряжение и покажет прибор.

В действительности же напряжение между точками  $a$  и  $b$  (при неподключенном к ним приборе) равно

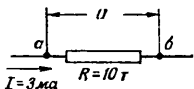
$$U_1 = \frac{I_{\text{ма}} \cdot R}{1\,000} = \frac{3 \cdot 10\,000}{1\,000} = 30\text{ в},$$

т. е. в три раза больше показанного прибором!

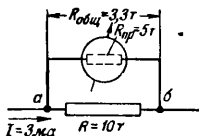


Фиг. 11. Измерение напряжений на различных участках цепи. Падение напряжения на сопротивлении  $R_1$  измеряется прибором  $\Pi p_1$ , на сопротивлении  $R_2$  — прибором  $\Pi p_2$  и общее напряжение — прибором  $\Pi p$ .

Такое большое расхождение объясняется тем, что параллельное подключение прибора с малым внутренним сопротивлением сильно уменьшило величину сопротивления участка, на котором измерялось напряжение. Очевидно, что прибор с большим внутренним сопротивлением не так резко изменит сопротивление этого участка, и напряжение, которое он покажет, будет меньше отличаться от действительно там существующего. Так, например, прибор с внутренним сопротивлением в 500 000 ом покажет напряжение



Фиг. 12. Для измерения падения напряжения на сопротивлении  $R$  прибор нужно подключить к точкам  $a$  и  $b$ .



Фиг. 13. Внутреннее сопротивление прибора подключено параллельно сопротивлению  $R$ ; общее сопротивление между точками  $a$  и  $b$  стало поэтому меньше.

между точками  $a$  и  $b$  29,4 в, т. е. расхождение в этом случае составит всего 0,6 в. Читатель легко убедится в этом сам, если сделает соответствующие вычисления.

Выше уже говорилось, что приборы, измеряющие напряжение, называются вольтметрами; малые напряжения измеряются милливольтметрами, а высокие напряжения измеряются киловольтметрами. Внутреннее сопротивление всех этих приборов должно быть возможно большим. Величина внутреннего сопротивления вольтметра должна по меньшей мере в 10—20 раз превышать сопротивление участка, на концах которого измеряется напряжение. Только при соблюдении этого условия сопротивление участка цепи, к которому подключается вольтметр, не будет заметно уменьшаться, и показания прибора будут достаточно близки к действительности. Показателем качества вольтметра в этом отношении является число ом его внутреннего сопротивления, приходящихся на 1 в его шкалы. Хорошие высокоомные вольтметры на каждый вольт шкалы имеют от 10 000 до 20 000 ом.

**Расширение пределов измерения по напряжению.** Наибольшее напряжение, которое может быть измерено тем или иным прибором, т. е. предел измерения прибора по напряжению, вычисляется по формуле

$$U_{np} = \frac{I_{np} \cdot R_{np}}{1000},$$

где  $U_{np}$  — искомый предел измерения прибора по напряжению в *в*;

$I_{np}$  — ток, при котором стрелка прибора отклоняется до конца шкалы (предел измерения прибора по току), в *ма*;

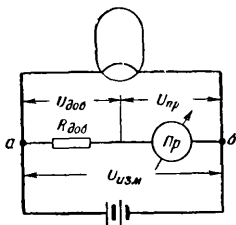
$R_{np}$  — внутреннее сопротивление прибора в *ом*.

Так, например, у прибора с внутренним сопротивлением  $R_{np} = 50$  *ом* и пределом измерения по току  $I_{np} = 1$  *ма* предел измерения по напряжению равен

$$U_{np} = \frac{I_{np} \cdot R_{np}}{1000} = \frac{1 \cdot 50}{1000} = 0,05 \text{ в.}$$

При подведении такого напряжения к данному прибору через него пройдет ток в 1 *ма*, который и вызовет отклонение стрелки на всю шкалу.

У большинства измерительных приборов предел измерения по напряжению не превышает долей вольта. Для измерения больших напряжений предел измерения прибора расширяют включением последовательно с ним добавочного сопротивления. Прибор вместе с присоединенным добавочным сопротивлением подключается к точкам, между которыми нужно измерить напряжение, параллельно (фиг. 14). Измеряемое напряжение  $U_{изм}$  в этом случае разделится на две части: одна часть его  $U_{доб}$  упадет (погасится) на добавочном сопротивлении  $R_{доб}$ , а другая  $U_{np}$  — на приборе. Прибор, таким образом, покажет не все измеряемое напряжение, а только приходящуюся на него часть, величина

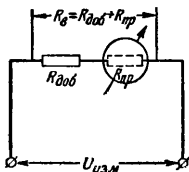


Фиг. 14. Включение прибора с добавочным сопротивлением для измерения напряжения накала. Часть измеряемого напряжения  $U_{доб}$  гасится на добавочном сопротивлении  $R_{доб}$ ; стрелка же прибора отклоняется под действием напряжения  $U_{np}$ .



которой будет тем меньше, чем больше по сравнению с внутренним сопротивлением прибора величина добавочного сопротивления, и наоборот. Следовательно, подбирая соответствующую величину добавочного сопротивления, мы можем подвести к прибору любую часть измеряемого напряжения. Зная же, какая именно часть этого напряжения подводится к прибору, и зная (по показаниям прибора) величину этой части напряжения, можно легко определить и величину всего измеряемого напряжения.

Величина добавочного сопротивления всегда подбирается так, чтобы на нем гасилось напряжение, представляющее избыток над пределом измерения прибора по напряжению. Например, для прибора с пределом измерения в 0,05 в при необходимости измерить им напряжение в 3 в на добавочном сопротивлении должно гаситься избыточное над пределом измерения прибора напряжение в  $3 - 0,05 = 2,95$  в. В этом случае отклонение стрелки прибора на всю шкалу будет происходить при напряжении в 3 в между точками, к которым подключен прибор вместе с его добавочным сопротивлением (например, точки *a* и *b* на фиг. 14). Для измерения этим прибором более высокого напряжения, например, в 300 в добавочное сопротивление должно быть взято большей величины, так как на нем должно погаситься избыточное напряжение в  $300 - 0,05 = 299,95$  в. Отклонение стрелки прибора на всю шкалу будет происходить при этом при напряжении между точками *a* и *b* в 300 в. Таким образом, при надлежащей величине добавочного сопротивления нетрудно получить вольтметр с любым пределом измерения.



Фиг. 15. Внутреннее сопротивление вольтметра равно сумме сопротивлений: добавочного  $R_{доб}$  и внутреннего сопротивления прибора  $R_{np}$ .

Внутреннее сопротивление вольтметра с добавочным сопротивлением. Величина внутреннего сопротивления  $R_g$  такого вольтметра равна сумме из величины внутреннего сопротивления прибора  $R_{np}$  и добавочного сопротивления  $R_{доб}$  (фиг. 15):

$$R_g = R_{np} + R_{доб}.$$

Мы уже знаем, что вольтметр должен обладать возможно большим внутренним сопротивлением. Так как внутреннее сопротивление самих приборов обычно невелико, величина внутреннего сопротивления вольтметра определяется главным образом величиной его добавочного сопротивления.

**Расчет величины добавочного сопротивления.** Расчет необходимой для получения того или иного предела измерения прибора величины добавочного сопротивления можно произвести по формуле

$$R_{доб} = \frac{1000 \cdot U_{изм}}{I_{пр}} - R_{пр},$$

где  $R_{доб}$  — искомая величина добавочного сопротивления в *ом*;

$U_{изм}$  — нужный предел измерения прибора в *в*;

$I_{пр}$  — предел измерения прибора по току в *ма*;

$R_{пр}$  — внутреннее сопротивление прибора в *ом*.

Пусть имеется прибор с внутренним сопротивлением  $R_{пр} = 100$  *ом* и пределом измерения по току  $I_{пр} = 2$  *ма*. Таким прибором можно измерять напряжение не больше

$$U_{пр} = \frac{I_{пр} \cdot R_{пр}}{1000} = \frac{2 \cdot 100}{1000} = 0,02 \text{ в.}$$

Для измерения напряжения в 10 *в* последовательно с этим прибором необходимо включить добавочное сопротивление

$$R_{доб} = \frac{1000 \cdot U_{изм}}{I_{пр}} - R_{пр} = \frac{1000 \cdot 10}{2} - 100 = 4900 \text{ ом.}$$

При присоединении к данному прибору такого добавочного сопротивления он превратится в вольтметр с пределом измерения в 10 *в* и внутренним сопротивлением

$$R_v = R_{пр} + R_{доб} = 100 + 4900 = 5000 \text{ ом.}$$

**Какой прибор нужно применять для вольтметра.**

Посмотрим теперь, как изменится внутреннее сопротивление вольтметра, если мы используем в нем прибор с пределом измерения по току не в 2 *ма*, как в предыдущем примере, а с  $I_{пр} = 0,5$  *ма*. Для получения того же

предела измерения в 10 в к такому прибору потребуется добавочное сопротивление:

$$R_{доб} = \frac{1000 \cdot U_{изм}}{I_{пр}} - R_{пр} = \frac{1000 \cdot 10}{0,5} - 100 = 19900 \text{ ом}.$$

Внутреннее сопротивление этого вольтметра

$$R_v = R_{пр} + R_{доб} = 100 + 19900 = 20000 \text{ ом}.$$

Отсюда следует, что большим внутренним сопротивлением будет обладать вольтметр, в котором применен прибор с меньшим пределом измерения по току, т. е. для вольтметров нужно применять возможно более чувствительные приборы.

В хороших высокоомных вольтметрах применяются приборы с пределом измерения по току в 50—100 мка (0,05—0,1 ма); у таких вольтметров на каждый вольт шкалы приходится соответственно 20 000 и 10 000 ом внутреннего сопротивления.

В табл. 2 приведены данные о количестве ом на вольт и о величине внутреннего сопротивления вольтметра при использовании в них приборов с различными пределами измерения по току.

**Конструктивное выполнение добавочных сопротивлений.** Добавочные сопротивления к вольтметрам не должны с течением времени изменять свою величину, поэтому их рекомендуется делать проволочными. Для намотки сопротивлений лучше всего применять манганиновый или константановый провод марок ПЭШО или ПШД. Площадь поперечного сечения провода подбирается так, чтобы плотность тока в нем не превышала 1—1,5 а/мм<sup>2</sup>, откуда нужный диаметр провода может быть вычислен по формуле

$$d = 0,036 \sqrt{I_{пр}}$$

при плотности тока в 1 а/мм<sup>2</sup> и

$$d = 0,029 \sqrt{I_{пр}}$$

при плотности тока в 1,5 а/мм<sup>2</sup>,

где  $d$  — искомый диаметр провода в мм;

$I_{пр}$  — предел измерения применяемого в вольтметре прибора по току в ма.

ТАБЛИЦА 2

Количество ом на 1 в и внутреннее сопротивление вольтметров в зависимости от предела измерения по току применяемых в них приборов

Предел измерения прибора по току	Колич. ом на 1 в (в тыс. ом)	Внутреннее сопротивление вольтметра (в тысячах ом) со шкалой на											
		1 в	1,5 в	3 в	5 в	10 в	15 в	30 в	50 в	100 в	150 в	300 в	500 в
50 мка	20	20	30	60	100	200	300	600	1 000	2 000	3 000	6 000	10 000
100 мка	10	10	15	30	50	100	150	300	500	1 000	1 500	3 000	5 000
200 мка	5	5	7,5	15	25	50	75	150	250	500	750	1 500	2 500
300 мка	3,33	3,33	5,0	10	16,6	33,3	50	100	166	333	500	1 000	1 666
500 мка	2	2	3	6	10	20	30	60	100	200	300	600	1 000
1 ма	1	1	1,5	3	5	10	15	30	50	100	150	300	500
1,5 ма	0,666	0,666	1,0	2,0	3,33	6,66	10	20	33,3	66,6	100	200	333
3 ма	0,333	0,333	0,5	1,0	1,66	3,33	5,0	10,0	16,6	33,3	50,0	100	166,6
5 ма	0,2	0,2	0,3	0,6	1,0	2,0	3,0	6,0	10,0	20,0	30,0	60,0	100,0
7,5 ма	0,133	0,133	0,2	0,4	0,666	1,33	2,0	4,0	6,66	13,3	20,0	40,0	66,6

Необходимая для намотки сопротивления длина провода находится по формуле

$$l = 785 \frac{R_{доб} \cdot d^2}{\rho},$$

где  $l$  — искомая длина провода в  $m$ ;  
 $R_{доб}$  — необходимая величина добавочного сопротивления в тысячах  $ом$ ;  
 $d$  — диаметр провода в  $мм$ ;  
 $\rho$  — удельное сопротивление материала провода (табл. 1).

Определим диаметр и длину провода для намотки сопротивления  $R_{доб} = 4900$   $ом$  (4,9 тысяч  $ом$ ) к прибору с пределом измерения по току  $I_{np} = 2$   $ма$  (см. предыдущий пример).

Задаваясь плотностью тока в  $1,5$   $а/мм^2$ , находим:

$$d = 0,029 \sqrt{I_{np}} = 0,029 \sqrt{2} \approx 0,041 \text{ мм.}$$

Для намотки возьмем константановый провод ( $\rho = 0,51$ , табл. 1). Константановый провод с диаметром в  $0,041$   $мм$  не выпускается, поэтому берем провод ближайшего большего диаметра —  $0,05$   $мм$ , после чего определяем необходимую длину провода:

$$l = 785 \cdot \frac{R_{доб} \cdot d^2}{\rho} = 785 \cdot \frac{4,9 \cdot 0,05^2}{0,51} = 18,9 \text{ м.}$$

Действительно необходимая длина может несколько отличаться от рассчитанной по причинам, о которых уже говорилось в разделе о расчете шунта. Поэтому лучше взять для намотки несколько большее количество провода и произвести точную подгонку добавочного сопротивления, сматывая излишек провода при сверке показаний прибора с показаниями точного (образцового) вольтметра. При этом величину добавочного сопротивления нужно уменьшать, если при измерении предельного напряжения (при сверке с образцовым прибором) стрелка проверяемого прибора не доходит до конца шкалы, и увеличивать, если она выходит за ее пределы.

Намотка добавочных сопротивлений производится в виде катушек на каркасе из изоляционного материала. Обычно катушка разбивается на отдельные секции (фиг. 16). Число секций выбирается так, чтобы приходящееся на каж-

дую секцию напряжение не превышало 60—100 в. Так, например, катушку для сопротивления, на котором должно гаситься напряжение 300 в, нужно разбить на 3—5 секций, для напряжения 500 в — на 5—7 секций и т. д.

В случае невозможности изготовить добавочные сопротивления из проволоки можно применять для них непроволочные сопротивления типа ВС или СС. Сопротивления ТО применять не следует, так как величина их с течением времени значительно меняется. Для непроволочного сопротивления величина приходящегося на него падения напряжения не должна превышать 100 в, поэтому добавочные сопротивления обычно изготавливаются из нескольких последовательно соединяемых между собою отдельных сопротивлений.

По допускаемой мощности рассеивания каждое из этих сопротивлений должно быть по крайней мере в два раза больше, чем фактически рассеивающаяся на нем мощность. Определить мощность рассеивания, с которой должно быть взято сопротивление, можно по формуле

$$P = \frac{I_{np}^2 \cdot R}{50},$$

где  $P$  — мощность рассеивания, с которой должно быть взято сопротивление, в *вт*;

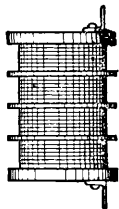
$R$  — величина сопротивления в тысячах *ом*;

$I_{np}$  — предел измерения прибора по току в *ма*.

**Пример.** Добавочное сопротивление, на котором должно гаситься напряжение 400 в, для прибора с пределом измерения по току  $I_{np} = 2$  *ма* должно быть равно 200 000 *ом*. Определить число отдельных сопротивлений и мощность рассеивания на каждом из них.

Так как падение напряжения на каждом непроволочном сопротивлении не должно превышать 100 в, то очевидно, что добавочное сопротивление должно быть составлено из четырех последовательно соединенных сопротивлений по 50 000 *ом*. Каждое из них должно быть взято с мощностью рассеивания

$$P = \frac{I_{np}^2 \cdot R}{500} = \frac{2^2 \cdot 50}{500} = 0,4 \text{ вт.}$$

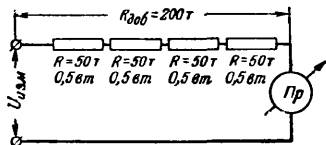


Фиг. 16. Добавочное сопротивление в виде секционированной катушки.

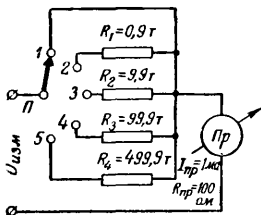
Сопротивления с мощностью рассеивания в 0,4 *вт* не изготавливаются, поэтому выбираем сопротивление с ближайшей большей мощностью рассеивания — 0,5 *вт*.

Схема прибора с рассчитанным добавочным сопротивлением показана на фиг. 17.

**Многошкальные вольтметры.** Для возможности достаточно точного измерения одним прибором как малых, так и больших напряжений применяются многошкальные или многопредельные вольтметры. Схема одного из таких вольтметров приведена на фиг. 18.



Фиг. 17. Схема вольтметра с непроволочными добавочными сопротивлениями.

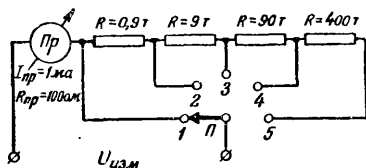


Фиг. 18. Схема пятишкального вольтметра. Изменение предела измерения осуществляется перестановкой переключателя П.

В этой схеме использован прибор с пределом измерения по току в 1 *ма* и внутренним сопротивлением в 100 *ом*. Непосредственно таким прибором можно измерять напряжения не свыше 0,1 *в*, для чего переключатель П ставится в положение 1. При установке переключателя в положение 2 последовательно с прибором включается сопротивление  $R_1$ , при котором предел измерения прибора расширяется в 10 раз и становится равным 1 *в*. При перестановке переключателя в положение 3 последовательно с прибором включается сопротивление  $R_2$ , большее, чем  $R_1$ . Предел измерения прибора при этом расширяется в 100 раз и становится равным 10 *в*. Аналогично при установке переключателя в положения 4 и 5 пределы измерения расширяются соответственно до 100 и 500 *в*.

На фиг. 19 приведена другая схема подобного прибора. В этой схеме добавочные сопротивления, применяемые при измерении меньших напряжений, используются как части добавочных сопротивлений при измерении больших напряжений.

**Шкала многопредельного вольтметра.** Как нам уже известно, у многопредельных приборов при переходе от одного предела измерения к другому цена деления шкалы изменяется. На фиг. 20 показан внешний вид шкалы прибора, который применен в описанной выше схеме. Деления на шкале этого прибора нанесены в десятых долях миллиампера.



Фиг. 19. Другой вариант схемы пятишкального вольтметра. В этой схеме добавочные сопротивления, применяемые при измерении меньших напряжений, используются как части добавочных сопротивлений при измерении больших напряжений.



Фиг. 20. Шкала прибора, использованного для многопредельного вольтметра (фиг. 18 и 19). Вольтметр показывает: при установке переключателя в положение 1—0,055 в, в положение 2—0,55 в, в положение 3—5,5 в, в положение 4—55 в и в положение 5—275 в.

Значения напряжения, которым соответствуют эти деления, показаны пунктирными цифрами. Непосредственный отсчет напряжения по этим цифрам возможен только при установке переключателя в положение 1. Для остальных положений измеряемое напряжение определяется умножением показаний прибора (по пунктирным цифрам) на число, показывающее, во сколько раз при этом положении переключателя изменился предел измерения прибора. Пользование



такой шкалой очень неудобно, поэтому для многопредельного прибора лучше вычертить специальную шкалу, дающую возможность производить непосредственный отсчет при установке прибора на любой предел измерений, аналогично тому, как это показано для многопредельного амперметра (фиг. 10).

## ГРАДУИРОВКА И ПРОВЕРКА ГРАДУИРОВКИ

**Правила градуировки.** Деления на шкалах измерительных приборов обычно наносятся в значениях тех величин, для измерения которых эти приборы предназначены. Процесс нанесения таких делений на шкалу называется градуировкой. В радиолюбительской практике к градуировке приборов приходится прибегать в случае замены их шкалы при переделке на другие пределы показаний.

Чаще всего градуировка производится по образцовому (эталонному) прибору, по показаниям которого наносятся деления на шкале градуируемого прибора. По своей точности образцовый прибор должен быть на класс выше градуируемого. Разумеется, в качестве образцового можно использовать и менее точный прибор, но при этом и точность градуировки будет соответственно ниже. Образцовый прибор нужно выбирать примерно с такими же пределами измерения, как и градуируемый. При градуировке многошкального прибора образцовый прибор желательно иметь также многошкальным.

Так как градуировка является последней операцией при переделке или ремонте прибора, то все неполадки в его работе должны быть устранены до градуировки.

Показания измерительного прибора точны только в том положении, в каком он градуируется, поэтому градуировка должна производиться в том положении прибора, в каком он будет работать. При наличии у прибора металлического кожуха градуировка производится обязательно при одетом кожухе, так как при снятом кожухе градуировка прибора может измениться. Для нанесения делений на шкалу с кожуха снимается защитное стекло. Все детали прибора, в том числе кожух и шкала, перед градуировкой должны быть надежно закреплены.

**Градуировка амперметра.** На фиг. 21 показана схема для градуировки амперметров. Градуируемый и образцо-

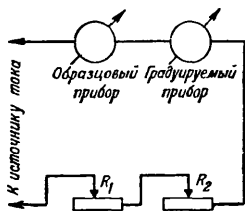
вый приборы соединяются между собою последовательно, так что стрелки их отклоняются под действием одного и того же тока.

Необходимая величина тока через приборы устанавливается при помощи последовательно соединенных с ними реостатов. Один из этих реостатов (с большим сопротивлением) служит для грубой установки, а другой (с меньшим сопротивлением) — для точной. Работа с одним реостатом хотя и возможна, но неудобна, так как точная установка нужной величины тока при этом затруднительна.

Сам процесс градуировки состоит в следующем. Прежде всего на шкалу градуируемого прибора наносится точка, соответствующая нулевой черте (нулю тока; цепь при этом должна быть разомкнута). Точки наносятся на шкалу против конца стрелки остро заточенным мягким карандашом.

После нанесения нулевой точки по показаниям образцового прибора в цепи устанавливают ток, равный пределу измерения градуируемого прибора. Против конца отклонившейся при этом стрелки на шкале наносят точку, соответствующую наибольшему измеряемому прибором току. Начальная и конечная точки должны расположиться симметрично относительно окна в кожухе; незначительная несимметрия легко устраняется перемещением нулевой точки в нужную сторону корректором.

Если начальная и конечная точки на шкале расположились правильно, приступают к нанесению промежуточных делений. Для этого по показаниям образцового прибора устанавливают различные значения тока, а на шкале градуируемого прибора точками отмечают соответствующие этим значениям отклонения стрелки. Таким способом на шкалу наносятся все точки, которые будут помечены числами (числовые отметки). Так, например, на шкалу, изображенную на фиг. 10, потребовалось бы нанести 6 точек.



Фиг. 21. Схема для градуировки амперметров. Один из реостатов служит для грубой регулировки тока в цепи, а другой — для точной.

Такую градуировку производят дважды: один раз от нуля к концу шкалы, а другой раз — от конца к нулю. При этом могут появиться новые точки, не совпадающие с первыми. Эти точки нужно также нанести на шкалу, так как при вычерчивании ее черту нужно проводить между точками прямой и обратной градуировки. Промежутки между делениями с числовыми отметками разбиваются на более мелкие части уже при вычерчивании шкалы по окончании градуировки и после снятия шкалы с прибора. Расстояние между двумя числовыми отметками разделяется на 2, 5 или 10 частей. Эти части при равномерной шкале должны быть равными. Без особого ущерба для точности прибора деления неравномерной шкалы, если они не очень резко изменяются, могут быть разбиты также на равные части. Внизу шкалы под ее делениями наносятся знаки, характеризующие прибор, и ставится его номер.

Применяемый при градуировке источник тока должен обеспечивать получение тока, равного верхнему пределу измерений градуируемого прибора. Для приборов постоянного тока таким источником может явиться сухой элемент или аккумулятор с разрядным током, равным верхнему пределу измерений градуируемого прибора, или дающий соответствующий ток выпрямитель. При градуировке приборов переменного тока пользуются понижающим трансформатором с обмоткой, рассчитанной на напряжение в 1—2 в, и ток, равный верхнему пределу измерений градуируемого прибора.

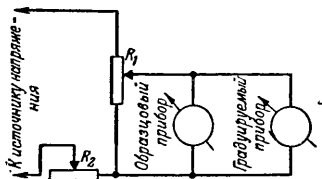
Сопротивление реостатов для регулировки тока подбирается так, чтобы при полностью введенных сопротивлениях стрелка прибора отклонилась бы меньше, чем на одно деление шкалы (с числовой отметкой). Сопротивление реостата для точной регулировки должно составлять 10—20% от определенного таким образом общего сопротивления.

**Градуировка вольтметра.** На фиг. 22 приведена схема для градуировки вольтметров. Градуируемый и образцовый приборы соединяются между собою параллельно так, что стрелки их отклоняются под действием одного и того же напряжения. Грубая установка напряжения производится потенциометром  $R_1$ , а точная — реостатом  $R_2$ . В случае использования только одного из них точная установка нужной величины напряжения затруднительна.

Порядок градуировки вольтметра ничем не отличается от уже описанного для градуировки амперметра: на шкалу прибора наносятся точки, соответствующие различным напряжениям, величина которых отсчитывается по образцовому прибору. Разбивка промежутков на мелкие части производится после градуировки вольтметра так же, как и разбивка промежутков шкалы амперметра.

Сопроотивление потенциометра  $R_1$  берется примерно в два раза меньше общего сопротивления соединенных между собою вольтметров. Величина сопротивления  $R_2$  должна составлять 15—20% от величины сопротивления  $R_1$ . Потенциометр и реостат не должны заметно нагреваться от проходящего через них тока.

Применяемый для градуировки источник тока должен давать напряжение, на 15—20% превышающее предел измерения градуируемого прибора. Для приборов постоянного тока таким источником может служить, в зависимости от предела измерений градуируемого прибора, либо батарея из нескольких сухих элементов, либо несколько последовательно соединенных анодных батарей, либо выпрямитель. При градуировке вольтметров переменного тока напряжение берется либо от сети, либо от дающей нужное напряжение обмотки трансформатора.



Фиг. 22. Схема для градуировки вольтметров. Грубая регулировка величины напряжения производится потенциометром  $R_1$ , точная — реостатом  $R_2$ .

**Проверка градуировки.** Точность показаний приборов, долгое время находившихся в эксплуатации или прошедших ремонт, обычно нарушается, и градуировка их нуждается в проверке. При проверке градуировки выясняется величина погрешности показаний проверяемого прибора по сравнению с показаниями образцового прибора при измерении ими одной и той же величины.

Для проверки пользуются теми же схемами, по которым производится и градуировка приборов (фиг. 21 и 22).

Проверка градуировки производится следующим образом: по проверяемому прибору устанавливают различные

значения измеряемой им величины и по показаниям образцового прибора определяют действительное значение этой величины. Таким способом проверяются все деления шкалы, имеющие числовые отметки. Результаты проверки записывают в специальную таблицу, данными которой пользуются для определения действительного значения измеряемой прибором величины. Ниже приводится примерный вид таких таблиц (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3

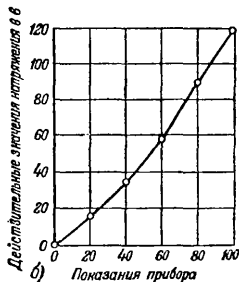
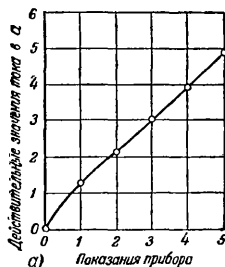
### Проверка градуировки

#### амперметра

Показание прибора, $a$	Действительное значение (по образцовому прибору), $a$	Поправка, $a$
0	0	0,0
1	1,3	+0,3
2	2,1	+0,1
3	3	0,0
4	3,9	-0,1
5	4,8	-0,2

#### вольтметра

Показание прибора, $b$	Действительное значение (по образцовому прибору), $b$	Поправка, $b$
0	0	0
20	15	-5
40	33	-7
60	58	-2
80	88	+8
100	119	+19



Фиг. 23. Графики градуировки:  $a$ —амперметра и  $b$ —вольтметра, составленные по данным табл. 3.

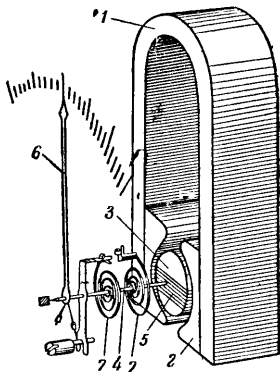
В таблицах имеется специальная графа, в которую записываются поправки показаний. Величины поправок, которые к показанию прибора нужно прибавлять, записываются со

знаком  $+$  (плюс), величины, которые нужно отнимать — со знаком  $-$  (минус). На основании таблиц можно построить график градуировки прибора (фиг. 23, *а* и *б*). Такие графики позволяют определять значение измеряемой величины при любом положении стрелки прибора.

## СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

**Магнитоэлектрические приборы.** Принцип действия магнитоэлектрических приборов основан на свойстве проводника при прохождении по нему тока перемещаться в магнитном поле.

Устройство магнитоэлектрического прибора показано на фиг. 24. К концам постоянного магнита 1 прикреплены полюсные наконечники 2 из мягкой стали. Между ними неподвижно укреплен цилиндрический стальной сердечник 3. В воздушном зазоре между полюсными наконечниками и сердечником может свободно поворачиваться на оси 4 катушка (рамка) 5, охватывающая стальной сердечник. Катушка состоит из алюминиевого каркаса прямоугольной формы, на который намотана тонкая изолированная медная проволока. На оси 4 укреплена стрелка 6, конец которой может перемещаться над шкалой с делениями.



Фиг. 24. Схематическое устройство магнитоэлектрического прибора.

В начальном положении рамку удерживают две спиральные пружины 7, через которые к ней подводится измеряемый ток<sup>1</sup>. Если по виткам рамки пропустить ток, вокруг нее образуется магнитное поле. В результате взаимодействия этого поля с полем постоянного магнита рамка будет поворачиваться в ту или другую сторону, в зависи-

<sup>1</sup> Пружины 7 для большей наглядности чертежа показаны рядом. На самом деле они находятся с разных сторон рамки.

мости от направления проходящего по ней тока. Большему току через рамку будет соответствовать и больший угол поворота ее, меньшему току — меньший. Следовательно, по числу делений, указываемых на шкале, связанной с рамкой и стрелкой, можно судить о величине тока через рамку или о напряжении, под действием которого этот ток через нее проходит. Таким образом, магнитоэлектрический прибор пригоден как для измерения токов, так и напряжений, и деления на его шкале могут наноситься как в единицах силы тока, так и напряжения.

Чтобы сделать прибор возможно более чувствительным, все поле постоянного магнита необходимо сосредоточить вокруг рамки. Для этого полюса магнита снабжены полюсными наконечниками, а внутри рамки помещен цилиндрический сердечник. Благодаря этому, магнитное поле оказывается равномерно сосредоточенным в узком пространстве между наконечниками и сердечником.

При применении достаточно сильного постоянного магнита чувствительность магнитоэлектрического прибора может быть сделана очень высокой: некоторые их типы позволяют измерять токи в одну десятиллионную долю ампера ( $0,0000001$  а).

Благодаря тому, что перемещение рамки прибора происходит в равномерном магнитном поле, одинаковым приращениям тока через нее будут соответствовать и одинаковые приращения угла ее поворота. Если, например, стрелка прибора при токе через рамку в  $1$  ма поворачивается на одну десятую часть шкалы, то при токе в  $2$  ма она повернется на две десятых, при токе в  $3$  ма — на три десятых и т. д. Шкала прибора получается, следовательно, равномерной: все деления ее находятся на одинаковом расстоянии друг от друга.

Мы уже говорили, что направление, в котором поворачивается рамка, зависит от направления проходящего через нее тока. Поворот стрелки от нуля до конца шкалы может происходить только при одном направлении тока в рамке, при перемене этого направления стрелка отклонится в обратную сторону. Следовательно, магнитоэлектрические приборы пригодны только для измерений постоянного тока. При подключении прибора к цепи переменного тока рамка его должна была бы изменять направление своего поворота в соответствии с частотой тока, но вследствие своей инерции уже при часто-

тах в несколько периодов она не будет успевать за изменениями тока и останется в нулевом положении, отзываясь на эти изменения только дрожанием стрелки.

Для обеспечения надлежащего направления тока в рамке подключение прибора к цепи постоянного тока должно производиться в соответствии с обозначениями на зажимах прибора. Зажим со знаком  $+$  (плюс) всегда располагается с правой стороны прибора, если смотреть на него со стороны шкалы.

Магнитоэлектрические приборы обладают небольшими пределами измерений как по току, так и по напряжению. Поэтому для измерения больших токов к прибору подключаются соответствующие шунты, а для измерения напряжений — добавочные сопротивления. Величина внутреннего сопротивления вольтметров с магнитоэлектрической системой может достигать, благодаря высокой чувствительности этих приборов, 20 000 и больше  $\Omega$  на 1 в.

Магнитоэлектрические приборы являются самыми точными из всех стрелочных измерительных приборов: величина погрешности у лучших из них не превышает 0,2% от наибольшего показания. Кроме того, к числу крупных достоинств магнитоэлектрических приборов следует отнести их высокую чувствительность, равномерность шкалы на всем ее протяжении, а также сравнительно слабую подверженность влиянию внешних магнитных полей и температуры. Недостатком приборов является их непригодность для непосредственного измерения переменного тока<sup>1</sup>.

**Электромагнитные приборы.** Отклонение стрелки у электромагнитных приборов обуславливается действием магнитного поля, создаваемого измеряемым током на помещенный в это поле сердечник из мягкой стали.

Одна из конструкций такого прибора схематически показана на фиг. 25. Подвижная часть этого прибора представляет собой диск 1 из мягкой стали, который, поворачиваясь вокруг оси, может входить внутрь плоской катушки 2. Угол поворота диска указывается на шкале жестко связан-

---

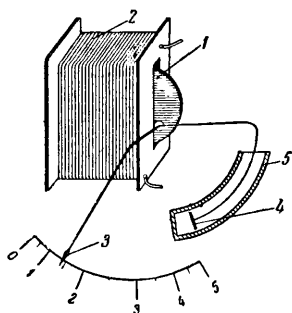
<sup>1</sup> Измерение переменных токов (вплоть до очень высоких частот) может быть осуществлено при помощи магнитоэлектрического прибора в соединении с устройством, предварительно преобразующем этот измеряемый переменный ток в ток постоянный.

К числу таких устройств относятся термоэлементы и различные выпрямители как ламповые, так и кристаллические, в частности купроксные.



ной с ним стрелкой 3. В начальном положении диск удерживается спиральной пружиной (на чертеже не показана). Поршень 4, связанный со стрелкой прибора, при передвижении внутри камеры 5, способствует быстрой установке (успокоению) стрелки.

Если по виткам катушки пропустить ток, вокруг нее возникнет магнитное поле, под действием которого диск начнет



Фиг. 25. Схематическое устройство электромагнитного прибора.

втягиваться внутрь катушки, поворачиваясь при этом вокруг оси. Чем больше проходящий по катушке ток, тем глубже втянется в нее диск и тем на больший угол повернется связанная с ним стрелка. Таким образом, по углу поворота стрелки можно судить о величине тока через катушку или о напряжении, под действием которого этот ток через нее проходит. Следовательно, электромагнитный прибор может служить как для измерения тока, так и напряжения.

Прямой пропорциональности между углом поворота стрелки и величиной тока через катушку у электромагнитных приборов не имеется: обычно в начале и конце шкалы деления располагаются друг к другу ближе, чем в середине; следовательно, шкала получается неравномерной. Примерный вид шкалы электромагнитного прибора показан на фиг. 26.

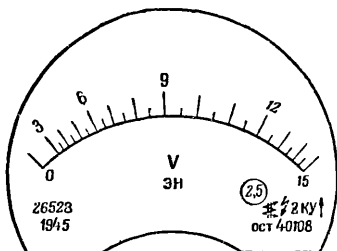
Отклонение стрелки электромагнитного прибора происходит всегда в одну и ту же сторону независимо от направления тока в катушке. Поэтому электромагнитные приборы пригодны для измерения как постоянного, так и переменного токов. Но так как воздействие магнитного поля катушки прибора на сердечник зависит от частоты измеряемого тока и с повышением ее ослабевает, то стрелка прибора при относительно высоких частотах не будет отклоняться, несмотря на наличие в катушке тока. Поэтому электромагнитные приборы могут применяться для измерения переменного тока только низкой частоты, и поскольку от-

клонение стрелки зависит не только от величины измеряемого тока, но и от его частоты, показания электромагнитного прибора будут правильны только при той частоте, при которой он градуировался (обычно 50 гц). По этой же причине показания электромагнитного прибора при измерении постоянного и переменного токов несколько различны между собой. Потому, на шкалах электромагнитных приборов часто наносятся два ряда делений: один для постоянного, а другой — для переменного токов.

Электромагнитные приборы дают несколько меньшую точность показаний, чем магнитоэлектрические: в среднем погрешность электромагнитных приборов достигает 1—1,5% от наибольшего показания и только в специальных конструкциях снижается до 0,3%.

Внутреннее сопротивление электромагнитного прибора зависит от числа витков и диаметра провода катушки. Приборы, предназначенные для измерения силы тока, должны обладать небольшим внутренним сопротивлением, поэтому катушки их состоят из небольшого числа витков толстого медного провода. Катушки вольтметров должны обладать возможно большим внутренним сопротивлением, поэтому они состоят из большого числа витков тонкой проволоки, но все же количество ом на 1 в у электромагнитных вольтметров редко превышает 100, поэтому для измерения напряжений в радиоаппаратуре они непригодны (за исключением измерения напряжения сети, накала ламп, напряжения аккумулятора и т. п.). Использование же электромагнитных приборов для измерения токов в радиоаппаратуре вполне допустимо.

Помимо указанных недостатков электромагнитного прибора, следует отметить зависимость его показаний от влияния внешних магнитных полей. Это обстоятельство необходимо учитывать при измерениях и располагать прибор по



Фиг. 26. Образец шкалы электромагнитного прибора.

возможности дальше от всех проводов, по которым проходят значительные токи.

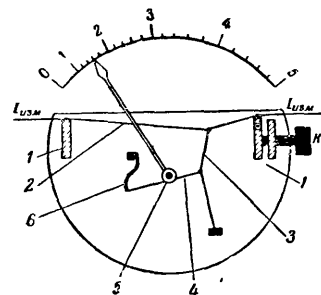
Кроме описанной выше конструкции электромагнитного прибора существуют еще и другие конструкции, но на описании их мы останавливаться не будем.

**Тепловые приборы.** Отклонение стрелки у этих приборов происходит вследствие изменения длины металлической нити, по которой проходит ток, нагревающий эту нить.

Устройство теплового прибора схематически показано на фиг. 27. Между двумя опорами 1 натянута тонкая калиброванная нить 2 (обычно из сплава платины с иридием), к которой

прикреплена еще одна нить 3, оттягивающая первую книзу. К этой оттягивающей нити прикреплена шелковая нить 4, переброшенная через вращающийся ролик 5, к которому прикреплена стрелка. Конiec шелковой нити прикреплен к пружине 6.

Если через калиброванную нить пропустить ток, она нагреется и удлинится, создавая провес. Пружина 6, выбирая этот провес, будет оттягивать шелковую нить влево,



Фиг. 27. Схематическое устройство теплового прибора.

отчего ролик вместе со стрелкой повернется вправо. По этому углу поворота стрелки можно судить о величине тока через нить или о напряжении, под действием которого этот ток проходит.

Несмотря на принципиальную возможность измерения тепловыми приборами как силы тока, так и напряжения, практически они используются для измерения только силы тока, так как внутреннее сопротивление вольтметров с такими приборами из-за их невысокой чувствительности не превышает 6—10 ом/в.

Тепловые приборы могут применяться как для измерения постоянного тока, так и переменного вплоть до высоких частот, потому что удлинение нити, обуславливающее

работу такого прибора, получается при нагревании ее как переменным, так и постоянным током.

Показания тепловых приборов в значительной степени зависят от температуры окружающего воздуха, так как изменение ее вызывает изменение длины нити. Получающееся при этом смещение стрелки с нулевого деления устраняется изменением натяжения нити корректором К. Внешние магнитные и электрические поля никакого влияния на показания прибора не оказывают.

Шкалы тепловых приборов неравномерны: деления в начале располагаются друг к другу ближе, чем в середине и конце.

Одним из недостатков тепловых приборов является относительно медленная установка стрелки на новое деление шкалы при изменении величины измеряемого тока. Это объясняется тем, что калиброванная нить обладает тепловой инерцией: изменение ее температуры при изменении проходящего через нее тока происходит не сразу, а постепенно.

При работе с тепловыми приборами нужно помнить, что даже незначительная перегрузка их током приводит к немедленному перегоранию нити, имеющей очень небольшой диаметр (порядка 0,03—0,3 мм).

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РАДИОАППАРАТУРЕ**

Измерения постоянных напряжений необходимы при ремонте или налаживании аппаратуры для подбора правильного режима ламп. Режим ламп определяется напряжениями на их электродах. Величина этих напряжений зависит как от напряжений, даваемых источникам питания, так и от падения напряжений на деталях, через которые напряжения от источников питания подаются к электродам ламп. При проверке режима лампы, помимо напряжений на ее электродах, необходимо еще измерять падение напряжений на некоторых деталях, а также напряжения источников питания.

**Какой вольтметр нужен для измерения напряжений?** Мы уже знаем, что вольтметр дает правильные показания только тогда, когда его внутреннее сопротивление в 10—20 раз превышает сопротивление участка, на котором изме-

руется напряжение. Так как в радиоаппаратуре измерение напряжений производится в большинстве случаев на участках, обладающих очень большими сопротивлениями, то и внутреннее сопротивление применяемых для этих измерений вольтметров должно быть тоже очень большим. Так, например, для измерения падения напряжения в 80 в на сопротивлении в 10 000 ом нужен вольтметр со шкалой на 100 в и внутренним сопротивлением по меньшей мере в 100 000 ом, т. е. с сопротивлением в 1 000 ом/в. Вольтметры с таким сопротивлением являются приборами среднего качества. Хорошие приборы должны иметь сопротивление в 20 000 и более ом на 1 в. Поэтому для измерения постоянных напряжений в радиоаппаратуре применяются либо магнитоэлектрические вольтметры, сопротивление которых, благодаря их высокой чувствительности, может достигать величин, значительно превышающих даже 20 000 ом/в, либо ламповые, обладающие еще большим сопротивлением.

**Ламповый вольтметр.** Ламповым вольтметром называется устройство, в котором стрелка измерительного прибора отклоняется под действием проходящего через электронную лампу тока, величина которого зависит от величины измеряемого напряжения.

Внутреннее сопротивление ламповых вольтметров настолько велико, что присоединение их практически не меняет сопротивление участка, на котором измеряется напряжение, поэтому они широко применяются при измерениях в радиоаппаратуре. Недостатком ламповых вольтметров является необходимость в источниках питания для них. Но тем не менее радиолюбителям, которые не могут изготовить хороший высокоомный вольтметр из-за недостаточной чувствительности имеющегося у них прибора, мы рекомендуем использовать этот прибор в схеме лампового вольтметра. Они, тем самым, получают в свое распоряжение прибор, намного превосходящий по своим качествам даже хорошие магнитоэлектрические вольтметры.

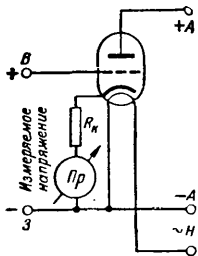
Схема простейшего лампового вольтметра для измерения постоянных напряжений изображена на фиг. 28. Вольтметр состоит из трехэлектродной электронной лампы, измерительного прибора, включенного в цепь анодного тока этой лампы, сопротивления смещения  $R_k$  и источников питания (на схеме не показаны). Величина сопротивления смещения  $R_k$  подбирается так, чтобы при замкнутых накоротко зажимах  $B$  и  $З$  на сетку лампы подавалось бы отри-

цательное смещение, уменьшающее ее анодный ток до величины, при которой стрелка прибора будет находиться в начале шкалы. При присоединении между зажимами *B* и *З* постоянного напряжения (плюсом к зажиму *B*) отрицательное смещение на сетке лампы уменьшится, отчего анодный ток возрастет и стрелка прибора повернется на некоторый угол. Большему напряжению между точками *B* и *З* будет соответствовать больший анодный ток лампы и больший угол поворота стрелки; следовательно, по показаниям прибора можно судить о величине подведенного напряжения и нанести на его шкале деления непосредственно в значениях этого напряжения.

Таким вольтметром можно измерять напряжения на самых высокоомных участках, совершенно не изменяя их сопротивления, так как сопротивление между зажимами *B* и *З*, к которым подводится измеряемое напряжение, очень велико.

В описываемой схеме вольтметра отрицательное смещение на сетку лампы подается с сопротивления  $R_k$ , включенного в цепь ее анодного тока. При подключении к зажимам *B* и *З* измеряемого напряжения анодный ток лампы возрастет и увеличит падение напряжения на сопротивлении  $R_k$ , что вызовет в свою очередь увеличение отрицательного смещения на сетке лампы, т. е. между анодной и сеточной цепями лампы будет иметь место отрицательная обратная связь. Благодаря этой связи всякое увеличение напряжения на сетке лампы от подведенного к зажимам *B* и *З* измеряемого напряжения будет ослаблено получающимся при этом увеличением отрицательного смещения на сетку, снимаемым с сопротивления  $R_k$ . Наличие отрицательной обратной связи позволяет получить почти равномерную градуировку шкалы прибора, не изменяющуюся при изменении питающих лампу напряжений.

Как мы уже указывали, сопротивление  $R_k$  должно подбираться настолько большой величины, чтобы стрелка прибора при замкнутых накоротко зажимах *B* и *З* находилась в начале шкалы. При недостаточной величине этого



Фиг. 28. Схема простейшего лампового вольтметра.

сопротивления смещение на сетке будет недостаточным для уменьшения анодного тока лампы до величины, при которой стрелка прибора устанавливается в начале шкалы, т. е. нуль, от которого будут отсчитываться измеряемые напряжения, окажется в этом случае не в начале шкалы, и точность отсчета по такой шкале снизится. При большой величине сопротивления  $R_k$ , благодаря влиянию отрицательной обратной связи, которое тем сильнее, чем больше сопротивление  $R_k$ , ток через прибор даже при значительных величинах измеряемого напряжения будет небольшим, поэтому прибор в анодной цепи лампы должен быть высокой чувствительности.

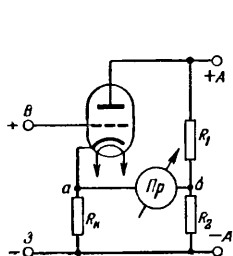
Таким образом, недостатком описанной выше схемы является невозможность использования в ней малочувствительного прибора, стрелка которого из-за влияния отрицательной обратной связи не будет отклоняться на всю шкалу даже при больших величинах измеряемого напряжения. Хотя влияние отрицательной обратной связи и можно ослабить (уменьшив величину сопротивления смещения), но в этом случае, как мы знаем, понизится точность отсчета.

Для возможности использования всей шкалы малочувствительного прибора применяют так называемые компенсационные схемы включения прибора, в которых при отсутствии измеряемого напряжения на вольтметре ток через прибор не проходит, несмотря на наличие тока в анодной цепи лампы.

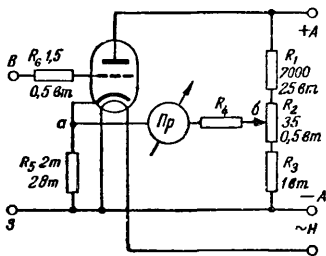
Одна из таких схем приведена на фиг. 29. В этой схеме величина сопротивления  $R_2$  подбирается так, чтобы при замкнутых накоротко зажимах  $B$  и  $З$  падение напряжения на нем было бы в точности равно падению напряжения на сопротивлении смещения  $R_k$ . В этом случае разность потенциалов между точками  $a$  и  $b$  будет равна нулю, и ток через прибор проходить не будет. При включении между зажимами  $B$  и  $З$  измеряемого напряжения потенциал точки  $a$ , вследствие возросшего анодного тока лампы и увеличившегося поэтому падения напряжения на сопротивлении  $R_k$ , будет выше потенциала в точке  $b$ , в результате чего через прибор пойдет ток.

**Практическая схема лампового вольтметра.** На фиг. 30 приведена практическая схема лампового вольтметра для измерения постоянных напряжений. В этой схеме установка прибора на нуль производится при замкнутых накоротко зажимах  $B$  и  $З$  при помощи потенциометра  $R_2$ , передвиге-

нием ползунка которого потенциал в точке  $b$  подбирается равным потенциалу в точке  $a$ . Величины всех сопротивлений, кроме  $R_3$  и  $R_4$ , указаны на схеме. Величина сопротивления  $R_3$  зависит от типа применяемой в вольтметре лампы и находится из табл. 4<sup>1</sup>. В этой же таблице приведены данные о пределе измерения вольтметра в зависимости от типа лампы, предела измерения применяемого прибора и величины анодного напряжения. Сопротивление  $R_4$  предназначено для округления предела измерения вольтметра:



Фиг. 29. Компенсационная схема включения прибора лампового вольтметра.



Фиг. 30. Практическая схема вольтметра. Величина сопротивления  $R_3$  зависит от типа лампы и находится из табл. 4.

Например, при лампе 6АС7 и миллиамперметре с пределом измерения 0—8  $ma$  предел измерения вольтметра равен 2,6 в. Подбором величины сопротивления  $R_4$  этот предел может быть округлен до 3 в. Величина этого сопротивления подбирается в каждом отдельном случае опытным путем.

Вольтметры по приведенной схеме позволяют измерять напряжения не свыше нескольких вольт.

**Расширение пределов измерения лампового вольтметра.** Для измерения больших напряжений прибегают к расширению предела измерения вольтметра при помощи делителя напряжения, позволяющего подводить ко входу вольтметра не все измеряемое напряжение, а только часть его.

Схема вольтметра с делителем напряжения приведена на фиг. 31. Делитель напряжения состоит из сопротивлений  $R_9$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  и переключателя  $\Pi_1$ . При установке переключателя

<sup>1</sup> Таблица заимствована из книги Р. М. М а л и н и н а, «Самодельная измерительная аппаратура», из серии «Массовая радиобиблиотека».



Данные ламповых вольтметров  
(фиг. 30)

Тип лампы	Анодное напряжение, <i>в</i>	Предел измерения прибора, <i>ма</i>	Ориентировочная величина $R_3$ , <i>ом</i>	Ориентировочный предел измерения вольтметра, <i>в</i>
6С5	300	0—8	275	6,5
6Ж7*	300	0—5	275	4,0
	300	0—3	275	2,5
	100	0—5	275	7,0
	100	0—3	275	5,0
6Ж3М*	300	0—8	135	3,3
	300	0—5	135	2,2
	300	0—3	135	1,5
6Ж2М*	300	0—8	150	2,8
	300	0—5	150	1,8
	300	0—3	150	1,2
6AB7*	300	0—8	140	3,1
	300	0—5	140	2,1
	300	0—3	140	1,5
6AC7*	300	0—8	145	2,6
	300	0—5	145	1,7
	300	0—3	145	1,0

\* Антидинаatronная сетка соединена с катодом, а экранная — с анодом.

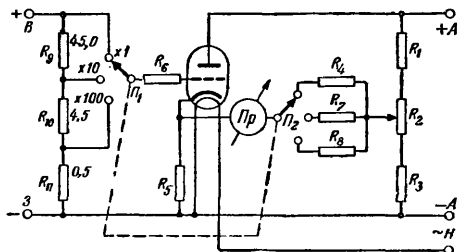
теля в положение  $\times I$  на вход вольтметра подается все напряжение, подведенное к зажимам *B* и *З*; следовательно, в это положение переключатель должен устанавливаться при измерении напряжений, не превышающих предел измерения вольтметра без делителя. При установке переключателя в положение  $\times 10$  или  $\times 100$  на вход вольтметра будет подаваться только та часть подведенного к зажимам *B* и *З* напряжения, которая падает на сопротивлениях, находящихся между ползунком переключателя и зажимом *З*, т. е. при положении  $\times 10$  — на  $R_{10}$  и  $R_{11}$ , а при положении  $\times 100$  — на  $R_{11}$ .

Величины этих сопротивлений подобраны так, что при установке переключателя в положение  $\times 10$  на них падает одна десятая часть измеряемого напряжения, а при положении  $\times 100$  — одна сотая; следовательно, при этих положениях отклонения стрелки будут происходить при напряжениях, соответственно в 10 и 100 раз превышающих

предел измерения вольтметра без делителя. Например, если предел измерения вольтметра без делителя напряжения равен 3 в, то в положении переключателя  $\times 1$  измеряемое напряжение не должно превышать 3 в, а в положениях  $\times 10$  и  $\times 100$  — соответственно 30 и 300 в.

Подбирая соответствующим образом число и величину сопротивлений в делителе, можно получить любое количество пределов измерения и любые соотношения между ними.

Внутреннее сопротивление вольтметра с делителем напряжения равно сумме сопротивлений делителя, поэтому



Фиг. 31. Схема вольтметра с делителем напряжения.  
Данные деталей те же, что и на фиг. 30.

для вольтметров, предназначенных для измерений на высокоомных участках цепи, делители состоят из сопротивлений очень большой величины. Например, делитель вольтметра на схеме на фиг. 31 составлен из сопротивлений в 45; 4,5 и 0,5 мгом; следовательно, внутреннее сопротивление вольтметра с таким делителем будет равно 50 мгом.

Конечно, делитель можно составить и из сопротивлений еще большей величины, но нужно иметь в виду, что сопротивление изоляции между входными зажимами вольтметра, контактами переключателя и гнездами ламповой панельки может иногда оказаться сравнимым с сопротивлением делителя. В этом случае делитель будет шунтирован сопротивлением изоляции примерно такой же величины, как и сопротивление самого делителя, что приведет к нарушению соотношений между пределами показаний вольтметра

и резкому уменьшению его входного сопротивления. Поэтому не имеет смысла применять делители с сопротивлением больше 10—15 *мгом*, тем более, что при этом можно без существенных ошибок измерять напряжения на участках с сопротивлением в 1—2 *мгом*, что в большинстве случаев вполне достаточно.

**Монтаж делителя напряжения.** При монтаже вольтметра должно быть обращено самое серьезное внимание на обеспечение надежной изоляции зажима, к которому подсоединяется плюс измеряемого напряжения, контактов переключателя, гнезд ламповой панельки и сопротивлений делителя. Плюсовой зажим вольтметра обязательно нужно устанавливать на хорошем изоляторе, например из керамики или авиастекла, ламповая панелька и платы переключателя должны быть керамическими. Крепить сопротивления делителя нужно только к лапкам переключателя, все соединительные провода должны быть возможно короче и не касаться никаких деталей кроме тех, к которым они подпаиваются.

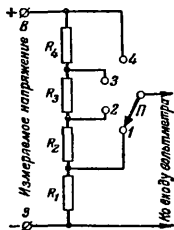
Чем больше сопротивление делителя, тем надежнее должна быть изоляция входного зажима, переключателя, ламповой панели и сопротивлений. В случае применения переключателя с платами из гетинакса и особенно из текстолита или ламповой панельки из гетинакса или текстолита полное сопротивление делителя не должно превышать 8—10 *мгом*.

Делители напряжения практически могут быть выполнены из непроволочных сопротивлений. Наиболее подходящими для этой цели являются сопротивления типа ВС первого класса точности с допускаемой мощностью рассеивания в 0,25 *вт*. Применять более мощные сопротивления не имеет смысла, так как величина фактически рассеивающейся на них мощности ничтожна. Сопротивления типа ТО для применения в делителях совершенно непригодны, так как величина их с течением времени изменяется. Сопротивления отдельных секций делителя всегда подбираются так, чтобы пределы измерений вольтметра изменялись бы в целое число раз. В случае неточной подгонки сопротивлений получающееся отклонение от необходимых пределов измерения можно выправить включением сопротивлений  $R_4$ ,  $R_7$  и  $R_8$ , величины которых подбираются так, чтобы стрелка прибора давала бы полное отклонение при величине измеряемого напряжения, соответствующей требуемому пределу

измерения вольтметра (например, при 3, 30 и 300 в). Переключение этих сопротивлений производится одновременно с переключением пределов измерения вольтметра.

**Расчет делителя напряжения.** Для расчета сопротивлений делителя напряжения должен быть известен предел измерения вольтметра без делителя, который мы обозначим через  $U_0$ , и заданы пределы измерений, которые нужно получить при каждом из положений переключателя.

Обозначим через  $U_1$  наибольший предел измерения, получающийся при установке переключателя  $\Pi$  на контакт 1 (фиг. 32); следующий за ним по величине (получающийся при установке  $\Pi$  на контакт 2)—через  $U_2$ ; предел измерения, получающийся при установке  $\Pi$  на контакт 3, обозначим через  $U_3$  и т. д. Затем, задаемся желательной величиной внутреннего сопротивления  $R_0$  вольтметра, которая, как уже известно, будет равна полному сопротивлению делителя. После этого приступаем к расчету величин сопротивлений, из которых составлен делитель, по формулам:



Фиг. 32. Схема к расчету делителя напряжения.

$$R_1 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_1}; \quad R_2 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_2} - R_1; \quad R_3 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_3} - (R_1 + R_2);$$

$$R_4 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_4} - (R_1 + R_2 + R_3).$$

В этих формулах значения сопротивлений удобнее всего подставлять в мегамах, а напряжения—в вольтах.

При желании изготовить делитель на большее число пределов дальнейший расчет производят по аналогичным же формулам:

$$R_5 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_5} - (R_1 + R_2 + R_3 + R_4);$$

$$R_6 = \frac{U_0 \cdot R_0}{U_6} - (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$$

и т. д.

**Пример.** Требуется рассчитать делитель к вольтметру, предел измерения которого без делителя  $U_0 = 1,5$  в. Пределы измерений

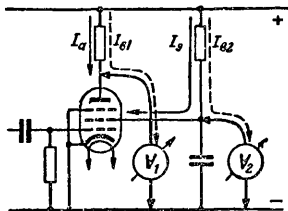
вольтметра с делителем должны быть равны:  $U_1 = 300$  в,  $U_2 = 150$  в,  $U_3 = 15$  в,  $U_4 = 1,5$  в.

Задавшись величиной сопротивления делителя  $R_0 = 15$  мгом, находим величины сопротивлений, из которых он должен быть составлен:

$$R_1 = \frac{U_6 \cdot R_0}{U_1} = \frac{1,5 \cdot 15}{300} = 0,075 \text{ мгом (75 000 ом);}$$

$$R_2 = \frac{U_6 \cdot R_0}{U_2} - R_1 = \frac{1,5 \cdot 15}{150} - 0,075 = 0,075 \text{ мгом (75 000 ом).}$$

Расчет величины сопротивлений  $R_3$  и  $R_4$  мы предоставляем сделать самому читателю. Сопротивление  $R_3 = 1,35$  мгом,  $R_4 = 13,5$  мгом.



Фиг. 33. Вольтметром  $V_1$  измеряется напряжение на аноде лампы. Ток к вольтметру ( $I_{a1}$ ) подходит через сопротивление анодной нагрузки и создает на нем дополнительное падение напряжения. Напряжение на экранной сетке измеряется вольтметром  $V_2$ . Потребляемый вольтметром ток ( $I_{e2}$ ) создает дополнительное падение напряжения на сопротивлении в цепи экранной сетки

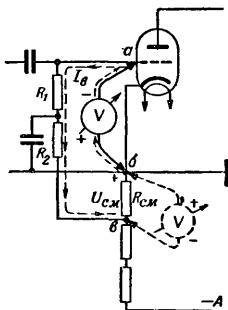
**Питание вольтметра.** Питание описанных выше ламповых вольтметров может производиться от любого выпрямителя, дающего выпрямленное напряжение 300 в при токе 60 ма. Выпрямитель удобнее всего смонтировать в общем ящике с вольтметром. Градуировка вольтметра производится обычными методами.

**Измерение напряжения на электродах ламп.** Напряжения на электродах ламп должны измеряться по отношению к их катодам; следовательно, для измерения напряжения на каком-либо из электродов вольтметр должен подключаться между этим электродом и катодом лампы. При этом нужно иметь в виду, что через сопротивления, включенные в цепь этого электрода, помимо тока электрода, проходит и ток на вольтметр, в результате чего падение напряжения на сопротивлениях увеличивается, а на электроде понижается (фиг. 33). Это пониженное напряжение и покажет вольтметр.

Чем меньше потребляемый вольтметром ток, т. е. чем больше его внутреннее сопротивление, тем меньше при его подключении получается падение напряжения на сопротивлениях в цепи электрода и тем меньше будет разница между напряжениями: показываемым вольтметром

и существующим на электроде в действительности. Поэтому напряжения на электродах ламп лучше всего измерять ламповыми вольтметрами или высокоомными (порядка 10 000—20 000  $\text{ом/в}$ ) магнитоэлектрическими. Широко распространенные вольтметры с сопротивлением порядка 1 000  $\text{ом/в}$  при присоединении их к электродам, в цепи которых включены большие сопротивления, будут показывать напряжения значительно ниже действительно существующих<sup>1</sup>:

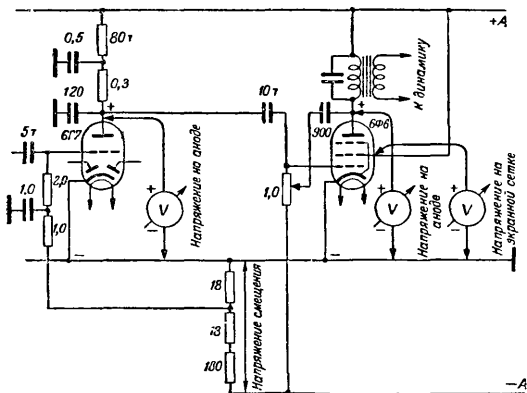
Следует, однако, иметь в виду, что при наличии в цепи электрода лампы очень больших сопротивлений напряжение, которое покажет на нем даже высокоомный магнитоэлектрический вольтметр, будет много меньше действительно существующего. На фиг. 34 изображена схема подачи автоматического смещения на сетку лампы. При подключении магнитоэлектрического вольтметра между сеткой и катодом лампы ток на вольтметр пройдет через сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , через которые на сетку лампы подается отрицательное смещение. Хотя потребляемый высокоомным вольтметром ток и очень мал, но при очень большой величине этих сопротивлений падение напряжения на них получится настолько большим, что по показаниям вольтметра нельзя даже приблизительно судить о величине напряжения, действительно существующего между сеткой и катодом. Так, например, если напряжение смещения в 3 в подается на сетку через сопротивления общей величины в 1  $\text{мгом}$ , то при подключении между точками  $a$  и  $b$  вольтметра со шкалой на 4 в и внутренним сопротивлением 500 000  $\text{ом}$  (125 000  $\text{ом}$  на 1 в) через эти сопротивления и вольтметр пройдет ток в 2  $\text{мкa}$  (0,000002 а), который создаст на сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$  падение напряжения 2 в. Следовательно, вольтметр вместо действительно существую-



Фиг. 34. Потребляемый вольтметром ток проходит через сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  и создает на них падение напряжения.

<sup>1</sup> Ниже описан метод повышения точности измерений низкоомными приборами. Измерения по этому методу требуют дополнительных вычислений.

шего напряжения 3 в покажет всего 1 в. Поэтому для измерения напряжения на сетке лампы в случае, если это напряжение подается на нее через большие сопротивления, магнитоэлектрические вольтметры подключаются не между сеткой и катодом (точки *a* и *b*), а к концам сопротивления, с которого снимается напряжение смещения (точки *b* и *в*, фиг. 34). Эти сопротивления имеют обычно небольшую ве-



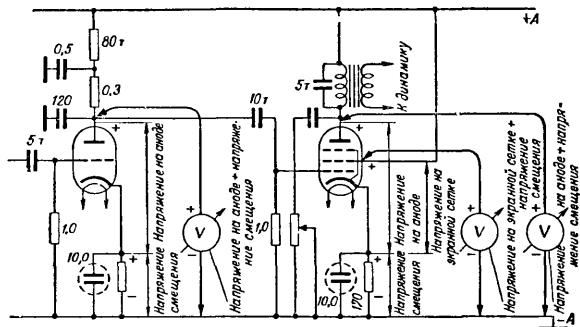
Фиг. 35. Измерение анодного и экранного напряжений на лампах низкочастотной части приемника. Так как катоды ламп соединены с корпусом, то вольтметр, включенный между анодом или экранной сеткой и корпусом, покажет напряжение, в действительности существующее на этих электродах.

личину, поэтому напряжение на них может быть достаточно точно измерено даже низкоомным вольтметром (порядка 100—200 ом/в).

Ламповые вольтметры ввиду их очень больших входных сопротивлений могут подключаться непосредственно между сеткой и катодом.

Во многих случаях бывает удобнее измерять напряжения на электродах лампы не по отношению к ее катоду, а по отношению к «земле» (корпусу). При этом следует иметь в виду, что вольтметр покажет напряжение, действительно существующее на аноде или экранной сетке лампы,

только в том случае, если смещение на ее управляющую сетку подается с сопротивления, включенного в цепь общего анодного тока ламп (фиг. 35). В случае подачи смещения с сопротивления, включенного в цепь катода лампы (фиг. 36), напряжение, которое покажет вольтметр, будет больше действительно существующего на аноде или экранной сетке на величину падения напряжения на этом сопротивлении.

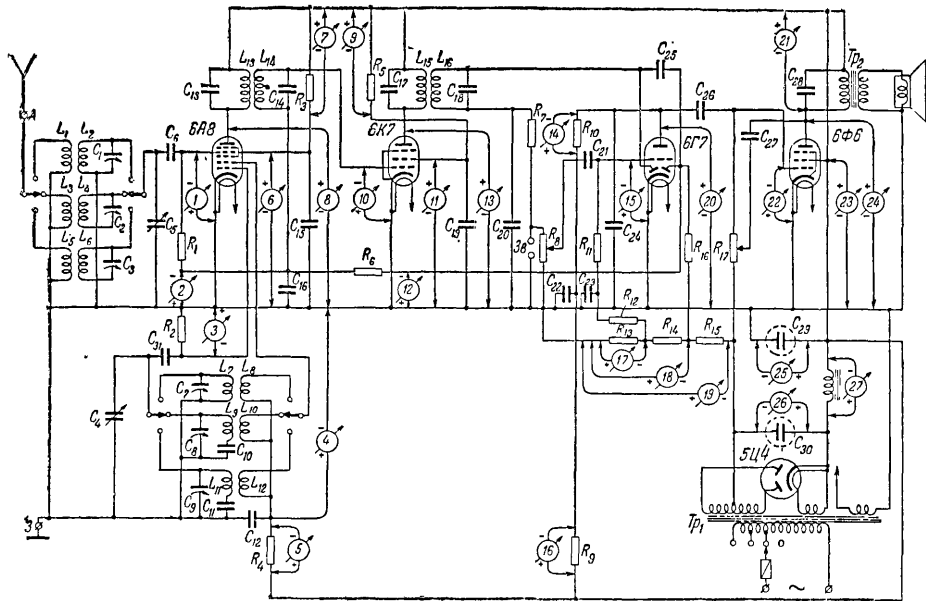


Фиг. 36. Вольтметр, включенный между анодом или экранной сеткой и корпусом, показывает напряжение больше действительно существующего на этих электродах, на величину падения напряжения на сопротивлении смещения.

У всех ламп, за исключением оконечных, падение напряжения на сопротивлении смещения не превышает 0,5—3 в и его при измерении анодного или экранного напряжений можно не учитывать. У мощных оконечных ламп с этим падением напряжения приходится считаться, так как оно достигает 20—30 в. Поэтому для измерения анодного или экранного напряжений у мощных ламп вольтметр нужно включать между анодом и катодом или экранной сеткой и катодом.

**Измерение прочих напряжений в ламповых схемах.** Для измерения прочих напряжений в ламповых схемах вольтметр должен присоединяться к тем точкам, между которыми нужно измерить напряжение. Так, например, для измерения напряжения, даваемого выпрямителем после фильтра, вольтметр нужно присоединить к зажимам второ-





Фиг. 37. Измерение напряжений в приемнике.

1—напряжение на управляющей сетке 6А8 (ламповый вольтметр со шкалой на 10 в); 2—напряжение АРЧ на управляющих сетках 6А8 и 6К7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 в); 3—напряжение на управляющей сетке гетеродина (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 в); 4—напряжение на аноде гетеродина (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 ом/в и шкалой на 150 в); 5—падение напряжения на сопротивлении в аноде гетеродина (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 ом/в и шкалой на 150 в); 6—напряжение на экранной сетке 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 ом/в и шкалой на 150 в); 7—напряжение на сопротивлении в цепи экранной сетки 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 ом/в и шкалой на 200 в); 8—напряжение на аноде 6А8 (вольтметр с сопротивлением 1 000 ом/в и шкалой на 300 в); 9—падение напряжения на сопротивлении в цепи экранной сетки 6К7 (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 ом/в и шкалой на 200 в); 10—напряжение на управляющей сетке 6К7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 в); 11—напряжение на экранной сетке 6К7 (вольтметр с сопротивлением 3 000—5 000 ом/в и шкалой на 150 в); 12—напряжение АРЧ (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 в); 13—напряжение на аноде 6К7 (вольтметр с сопротивлением 1 000 ом/в и шкалой на 300 в); 14—падение напряжения на сопротивлении анодной нарузки 6Г7 (вольтметр

с сопротивлением 15 000—20 000 ом/в и шкалой на 300 в); 15—напряжение на сетке 6Г7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—10 в); 16—падение напряжения на развязывающем сопротивлении в аноде 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 20 000 ом/в и шкалой на 50 в); 17—напряжение смещения на сетку 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 100—200 ом/в и шкалой на 5 в); 18—напряжение задержки АРЧ (ламповый вольтметр со шкалой на 5 в); 19—напряжение смещения на сетку 6Ф6 (вольтметр с сопротивлением 100—200 ом/в и шкалой на 30—50 в); 20—напряжение на аноде 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 15 000—20 000 ом/в и шкалой на 50 в); 21—падение напряжения на обмотке выходного трансформатора (вольтметр с сопротивлением 100—200 ом/в и шкалой на 30 в); 22—напряжение на управляющей сетке 6Ф6 (ламповый вольтметр со шкалой на 30 в); 23—напряжение на экранной сетке 6Ф6 (вольтметр с сопротивлением 1 000 ом/в и шкалой на 300 в); 24—напряжение на аноде 6Ф6 (вольтметр с сопротивлением 1 000 ом/в и шкалой на 300 в); 25—напряжение на втором конденсаторе фильтра (вольтметр с сопротивлением 1 000 ом/в и шкалой на 300 в); 26—напряжение на первом конденсаторе фильтра (вольтметр с сопротивлением 1 000 ом/в и шкалой на 300 в); 27—падение напряжения на дросселе фильтра (вольтметр с сопротивлением 100—200 ом/в и шкалой на 50 в).

го конденсатора фильтра, для измерения падения напряжения на дросселе фильтра — между концами дросселя, для измерения падения напряжения на каком-либо из сопротивлений — между концами этого сопротивления и т. п.

На фиг. 37 приведена типичная схема приемника супергетеродинного типа, на которой указаны места присоединения вольтметра при измерении различных напряжений.

Измерение напряжений в радиоаппаратуре во многих случаях дает кратчайший путь к отысканию неисправностей в ней, особенно, если заранее известны нормальные величины напряжений на электродах ламп и деталях. Сравнивая величины измеренных напряжений с указанными нормальными величинами, не трудно установить причину нарушения работы схемы. При отсутствии таких данных быстрое отыскание повреждения во многом зависит от опытности радиолюбителя и умения его правильно оценивать результаты измерений.

Вопросам отыскания неисправностей посвящен целый ряд книг, к которым мы и отсылаем читателя. Таковы, например, книги Е. А. Левитина, Налаживание приемников («Массовая радиобиблиотека», вып. 33) и Радиовещательные приемники (КОИЗ 1949 г.), З. Б. Гинзбурга, Как находить и устранять повреждения в приемниках («Массовая радиобиблиотека», вып. 28), и др.

**Повышение точности измерения напряжений низкоомным вольтметром.** При пользовании низкоомным вольтметром в случае, если он многошкальный, величина действительно существующего напряжения между точками, к которым подсоединяется вольтметр, может быть вычислена по данным двух замеров, сделанных этим вольтметром по двум его шкалам.

Предположим, что у нас имеется вольтметр со шкалами на 300 и 150 в. Допустим, что при измерении падения напряжения на каком-то сопротивлении этот вольтметр, установленный на предел измерения  $U_{пред.1} = 300$  в, показал напряжение  $U_1 = 85$  в. После переключения вольтметра на  $U_{пред.2} = 150$  в его внутреннее сопротивление уменьшилось, вследствие чего падение напряжения между точками, к которым он подключен, тоже уменьшилось, например, до  $U_2 = 60$  в. Тогда величина напряжения, действительно существующего между точками, к которым подключен вольтметр, вычисляется по следующим формулам:

$$U = \frac{(k-1) \cdot U_1}{k - \frac{U_1}{U_2}}, \quad \text{где } k = \frac{U_{пред.1}}{U_{пред.2}}.$$

Для нашего случая

$$k = \frac{300}{150} = 2 \quad \text{и} \quad U = \frac{(2-1) \cdot 85}{2 - \frac{85}{60}} \approx 145 \text{ в.}$$

Из приведенного примера видно, что при измерении таким вольтметром падения напряжения обычным способом мы сделали бы ошибку на  $145 - 85 = 60$  в, или на 41,3%.

Описанным выше способом можно пользоваться при измерениях напряжений на анодах и экранных сетках ламп только в том случае, если смещение на управляющую сетку

подается автоматически (т. е. с сопротивления в катод лампы). Тогда при пользовании вольтметром с сопротивлением  $1000 \text{ ом/в}$  ошибка не будет превышать 5%, в то время как при измерениях обычным способом ошибка с таким вольтметром может достигать 60%.

В случае подачи смещения на сетки ламп с сопротивления, включенного в цепь их общего анодного тока или от специального источника, измерять напряжения на электродах ламп описанным способом нельзя, так как ошибка при этом может получиться очень большой.

Радиолюбителям, имеющим в своем распоряжении одношкальный вольтметр, можно порекомендовать для проведения измерений по описанному способу добавить к прибору одно сопротивление, превратив его тем самым в двухшкальный вольтметр.

Более подробно этот метод описан в статье О. Храбана, Точные измерения низкоомным прибором, журнал «Радио», № 7, 1948 г.

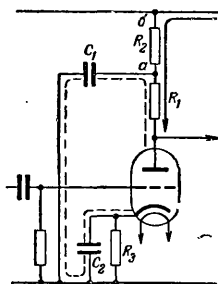
## ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РАДИОАППАРАТУРЕ

Измерения постоянного тока в радиоаппаратуре так же, как и измерения напряжений, необходимы при ее ремонте и налаживании для установления правильного режима ламп и нахождения повреждений.

**Какой прибор нужен для измерений.** Для этих измерений лучше всего пользоваться многошкальным магнитоэлектрическим прибором, предел измерения которого можно устанавливать порядка 1, 10, 50 и 100 *ма*. Для измерения тока накала ламп, питаемых от батарей, прибор должен иметь еще одну шкалу на 1—2 *а*. Применение электромагнитных или тепловых приборов, если они имеют подходящую чувствительность, также вполне возможно, хотя и менее желательно из-за их невысокой точности.

**Включение прибора в общую для постоянного и переменного тока цепь.** Для измерения тока в какой-нибудь цепи прибор, как мы знаем, должен включаться в эту цепь последовательно. Следовательно, для измерения, например, анодного тока лампы прибор нужно включить последовательно в ее анодную цепь, а для измерения тока экранной сетки — последовательно в цепь экранной сетки.

Следует иметь в виду, что в некоторых цепях радиосхем проходят как постоянный, так и переменный токи различной частоты. Включение прибора в такую цепь должно производиться так, чтобы через него не проходил никакой другой ток кроме измеряемого. Так, например, в схеме каскада усилителя низкой частоты (фиг. 38) через сопротивление  $R_1$ , являющееся частью анодной цепи лампы, проходят как постоянная, так и переменная составляющие ее анодного



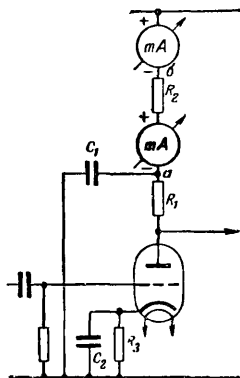
Фиг. 38. Пунктирной линией показан путь переменной составляющей анодного тока, а сплошной — постоянной составляющей. Обе составляющие проходят через сопротивление  $R_1$ .

тока, а через сопротивление  $R_2$  (также входящее в анодную цепь) — только постоянная составляющая, так как переменная составляющая пройдет к катоду лампы через конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  (обладающие для переменного тока небольшим сопротивлением), минуя сопротивление  $R_2$ . Для измерения этой постоянной составляющей прибор нужно включить либо между сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ , либо между сопротивлением  $R_2$  и плюсом источника анодного напряжения (фиг. 39). При включении прибора между анодом лампы и сопротивлением  $R_1$  через прибор будут проходить как постоянная, так и переменная составляющие анодного тока.

Казалось бы, что при пользовании магнитоэлектрическим прибором проходящая через него переменная составляющая не окажет никакого влияния на его показания (стрелка магнитоэлектрического прибора, как мы знаем, отклоняется под действием только постоянного тока). Однако, в этом случае прибор оказался бы под переменным напряжением, которое получилось бы на нем вследствие прохождения через него переменной составляющей анодного тока. Часть этого напряжения через емкость, которая всегда существует между прибором и всеми другими проводами схемы, попала бы и на провода сеточной цепи, а оттуда — на управляющую сетку лампы. Таким образом, цепь управляющей сетки лампы оказалась бы связанной с анодной цепью, что привело бы к самовозбуждению каскада

и вызвало бы изменение анодного тока лампы. Этот изменившийся ток и показал бы прибор. В современной радиоаппаратуре, где применяются лампы с большой крутизной, достаточно самой незначительной связи между анодной и сеточной цепями, чтобы вызвать самовозбуждение. Особенно легко возбуждаются усилители высокой и промежуточной частот.

Для выбора места включения прибора в цепь, через часть которой проходят и постоянный и переменный токи, нужно руководствоваться следующим правилом: измерительный прибор всегда должен включаться там, где создаваемое на участке проходящим через него переменным током переменное напряжение имеет наименьшую величину по отношению к нулевой точке цепи. В приведенных на фиг. 38 и 39 схемах таким местом является точка *a*, в которой переменная составляющая анодного тока замыкается через емкость  $C_1$  на корпус, и точка *b*, куда она вообще не доходит.



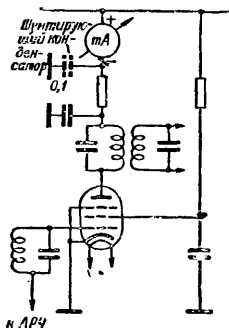
Фиг. 39. Включение прибора для измерения постоянной составляющей анодного тока.

Нужно отметить, что иногда, например, в случае недостаточной емкости конденсатора, замыкающего переменную составляющую на корпус, даже правильное включение прибора в цепь может вызвать самовозбуждение схемы. Для того чтобы включение прибора ни при каких обстоятельствах не вызвало бы самовозбуждения, прибор всегда нужно шунтировать непосредственно на землю конденсатором емкостью порядка 0,1 мкф (фиг. 40).

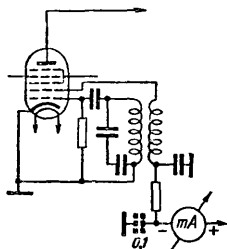
Очень часто место, где включение прибора не вызвало бы самовозбуждения, оказывается трудно доступным. В этих случаях приходится включать прибор в общую для постоянного и переменного тока часть цепи. При этом для предотвращения самовозбуждения рекомендуется, помимо шунтирования конденсатором прибора, шунтировать на землю также управляющую сетку лампы конденсатором емкостью порядка 0,01 мкф.

К измерениям можно приступить, только убедившись в отсутствии самовозбуждения в схеме. Это, разумеется, не относится к генераторным каскадам, измерение тока в которых должно производиться именно в режиме самовозбуждения (т. е. в нормальном для данного каскада режиме).

В генераторном каскаде включение прибора в общую для постоянного и переменного тока часть цепи может при-



Фиг. 40. Схема включения прибора с шунтирующим конденсатором в анодную цепь усилителя промежуточной частоты.



Фиг. 41. Включение прибора в анодную цепь генератора.

вести (вследствие большого падения переменного напряжения на приборе) к срыву колебаний и, следовательно, значительному изменению измеряемого тока. Поэтому в генераторных каскадах должно соблюдаться то же правило включения прибора, что и для всех прочих каскадов, т. е. прибор должен включаться так, чтобы через него проходил только постоянный ток (фиг. 41).

**Как обнаружить самовозбуждение.** О наличии самовозбуждения в каскаде можно судить по показаниям прибора, которые будут изменяться при прикосновениях к проводам сеточной цепи или даже при поднесении к ним руки, а также при замыкании сетки емкостью на корпус.



Следует иметь в виду, что самовозбуждение возникает не только в случае связи анодной и сеточной цепи одного каскада, но и при связи анодной цепи одного из последующих каскадов с анодной или сеточной цепью одного из предыдущих (например, при связи анодной цепи второго каскада усиления промежуточной частоты с анодной цепью смесителя). Иногда причиной самовозбуждения может явиться просто очень близкое расположение прибора или идущих к нему проводов с проводами или лампами предыдущих каскадов.

На фиг. 42 приведена схема приемника, где показано, куда и как нужно включать прибор для измерения различных токов в ней.

**Измерение тока с помощью вольтметра.** Прибор, измеряющий силу тока в цепи, должен включаться в нее последовательно, поэтому пользование им менее удобно, чем вольтметром. Иногда величину тока в цепи можно определить, не разрывая ее, при помощи вольтметра. Для этого нужно измерить вольтметром падение напряжения на каком-нибудь из сопротивлений цепи, создаваемое проходящим через него током, величину которого желательно измерить. Зная величину этого сопротивления и величину падения напряжения на нем (по показаниям вольтметра), величину тока можно определить по формуле

$$I = \frac{U}{R},$$

где  $I$  — искомый ток в  $ma$ ;

$U$  — показание вольтметра в  $v$ ;

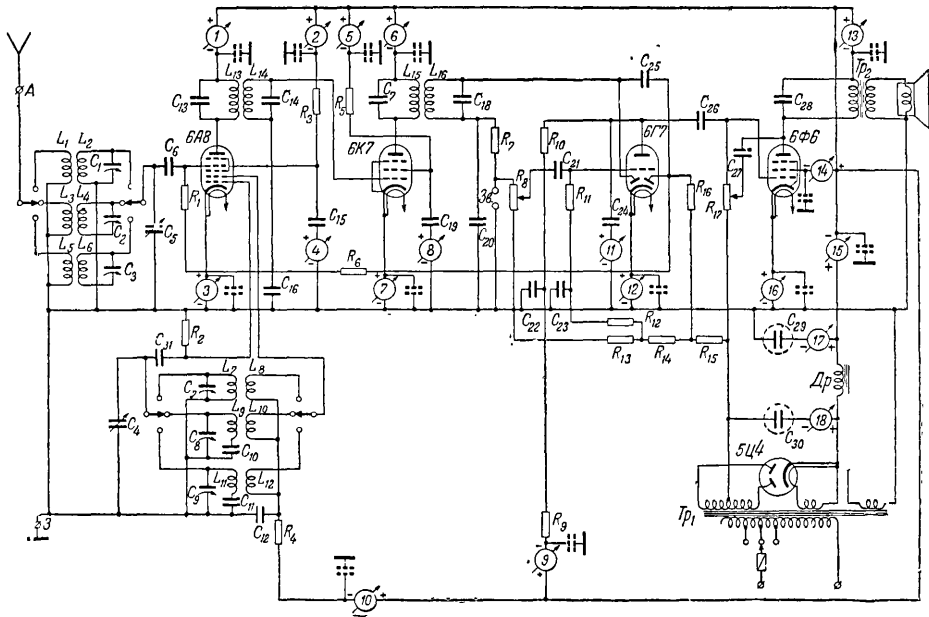
$R$  — сопротивление в тысячах  $ом$ , на котором измерялось падение напряжения.

**Пример.** Вольтметр, присоединенный параллельно гасящему сопротивлению в цепи экранной сетки, величина которого  $R = 50\,000\,ом$ , показал падение напряжения на нем  $U = 150\,v$  (фиг. 43 на стр. 65). Определить величину тока экранной сетки лампы.

Пользуясь приведенной выше формулой, находим:

$$I = \frac{150}{50} = 3\,ma.$$

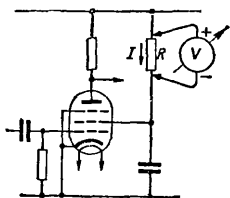
Само собой понятно, что для точного определения этим способом величины тока нужно, во-первых, пользоваться достаточно высокоомным вольтметром, а во-вторых, знать величину сопротивления, падение напряжения на котором измеряется.



Фиг. 42. Измерение постоянных токов в радиоприемнике.

1 — ток анода лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); 2—ток экранной сетки 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); 3 — ток в цепи катода 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 10—15 *ма*); 4—проверка конденсатора  $C_{18}$  на пробой и ток утечки (для проверки на пробой—миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки утечки—микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); 5—ток экранной сетки лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); 6—ток анода лампы К7 (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*); 7—ток в цепи катода лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 3 *ма*); 8—проверка конденсатора  $C_{19}$  на пробой и утечку (для проверки на пробой—миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки на утечку — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); 9—ток анода 6Г7 (миллиамперметр со шкалой на 1—3 *ма*); 10—ток гетеродинной сетки 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5 *ма*);

11 — проверка конденсатора  $C_{24}$  на пробой и утечку (для проверки на пробой — миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки утечки — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); 12—ток катода 6Г7 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); 13—ток анода лампы 6Ф6 (миллиамперметр со шкалой на 50—100 *ма*); 14—ток экранной сетки 6Ф6 (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*); 15 — ток, потребляемый лампами приемника от выпрямителя (миллиамперметр со шкалой на 100 *ма*); 16—ток катода лампы 6Ф6 (миллиамперметр со шкалой на 50—100 *ма*); 17—проверка конденсатора  $C_{25}$  на утечку (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); 18—проверка конденсатора  $C_{30}$  на утечку (то же, что и для конденсатора  $C_{26}$ ). Проверка конденсаторов на утечку производится только после проверки на пробой. Пунктиром показаны конденсаторы, подсоединяемые к прибору для его шунтирования на землю.



Фиг. 43. Определение величины тока с помощью вольтметра.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Под электрическим сопротивлением в данной главе понимается сопротивление проводника или детали постоянному току. По величине сопротивлений различных деталей можно судить об их исправности, поэтому измерение сопротивлений широко применяется при ремонте и налаживании аппаратуры.

Ниже описывается несколько наиболее доступных для радиолюбителя способов измерения сопротивлений.

**Способ амперметра и вольтметра.** Этот способ состоит в одновременном измерении амперметром (или миллиамперметром) и вольтметром тока через измеряемое сопротивление и получающегося при этом падения напряжения на нем (фиг. 44,а). Величина сопротивления вычисляется по формуле

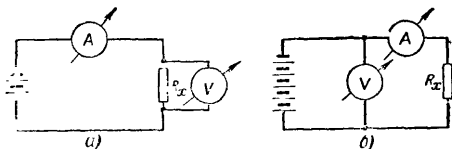
$$R_x = \frac{U}{I},$$

где  $R_x$  — искомая величина сопротивления в *ом*;

$U$  — напряжение в  $B$ , показанное вольтметром;

$I$  — ток в  $A$ , показанный амперметром.

Найденная по этой формуле величина сопротивления будет не совсем точной, так как только часть тока, который в этом случае показывает амперметр, проходит через сопротивление  $R_x$ , а другая часть (величина которой тем больше, чем меньше внутреннее сопротивление вольтметра) будет проходить через вольтметр. Чем больше внутреннее сопротивление вольтметра, тем точнее может быть измерена этим способом величина сопротивления.



Фиг. 44. Измерение сопротивлений способом вольтметра и амперметра.

$a$ —схема для измерения небольших сопротивлений;  $b$ —схема для измерения больших сопротивлений.

Точное значение сопротивления может быть вычислено по формуле

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_0}},$$

где  $R_0$  — величина внутреннего сопротивления вольтметра в  $\Omega$ , а остальные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

Этот способ удобен для измерения сопротивлений, имеющих небольшую величину, в частности — шунтов к измерительным приборам.

Для измерения сопротивлений большой величины применяют схему фиг. 44,  $b$ .

Точная величина измеряемого сопротивления при этом определяется по формуле

$$R_x = \frac{U}{I} - R_a,$$

где  $R_x$  — искомая величина сопротивления в  $\Omega$ ;

$U$  — показанное вольтметром напряжение в  $B$ ;

$I$  — показанный амперметром ток в  $a$ ;  
 $R_a$  — внутреннее сопротивление амперметра в  $ом$ .

При определении величины больших сопротивлений измерение силы тока производится не амперметром, а миллиамперметром, поэтому вычисления удобнее производить по следующей формуле

$$R_x = \frac{1\,000U}{I} - R_a,$$

где  $I$  — показания миллиамперметра в  $ма$ .

**Пример.** При измерении сопротивления по схеме фиг. 44, вольметр показал напряжение  $U=6$  в, а миллиамперметр — ток  $I=0,5$  ма. Найти величину сопротивления  $R_x$ , если внутреннее сопротивление миллиамперметра  $R_a=200$  ом

$$R_x = \frac{1\,000 \cdot 6}{0,5} - 200 = 11\,800 \text{ ом.}$$

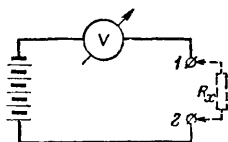
При измерениях величин сопротивлений сила тока через них должна быть такой, чтобы температура сопротивления не повышалась.

**Измерение сопротивлений при помощи вольтметра.** Величины сопротивлений можно измерять и при помощи только одного вольтметра, если известно его внутреннее сопротивление.

Процесс измерения состоит в следующем. Собирается изображенная на фиг. 45 схема, и зажимы 1 и 2 замыкаются накоротко. Тогда вольтметр покажет напряжение  $U_1$ , равное напряжению батареи. Затем зажимы 1 и 2 размыкаются, и между ними включается измеряемое сопротивление  $R_x$ . Обозначив показанное при этом вольтметром напряжение через  $U_2$ , величину измеряемого сопротивления определяем по формуле

$$R_x = R_v \left( \frac{U_1}{U_2} \right) - 1,$$

где  $R_x$  — искомая величина сопротивления в  $ом$ ;  
 $R_v$  — внутреннее сопротивление вольтметра в  $ом$ ;



Фиг. 45. Измерение сопротивлений при помощи вольтметра.

$U_1$  — напряжение в  $\text{в}$ , показанное вольтметром при замкнутых зажимах 1 и 2;

$U_2$  — напряжение в  $\text{в}$ , показанное вольтметром при включенном между зажимами 1 и 2 сопротивлении  $R_x$ .

**Пример.** Вольтметр с внутренним сопротивлением  $R_v = 10\,000\text{ ом}$  при замкнутых накоротко зажимах показал напряжение  $U_1 = 4,5\text{ в}$ , а при включении сопротивления  $R_x$  — напряжение  $= 0,5\text{ в}$ .

Найти величину сопротивления  $R_x$ .

По приведенной выше формуле находим:

$$R_x = 10\,000 \left( \frac{4,5}{0,5} - 1 \right) = 80\,000\text{ ом}.$$

Этот способ дает наибольшую точность, когда внутреннее сопротивление батареи мало, а величина измеряемого сопротивления близка к внутреннему сопротивлению вольтметра. Достаточно высокая точность получается при измерении сопротивлений, величина которых составляет не менее 0,1 от величины внутреннего сопротивления вольтметра и не более, чем в 10 раз превышает его. Напряжение батареи при этом должно быть таким, чтобы при замкнутых накоротко зажимах 1 и 2 стрелка вольтметра отклонялась бы возможно ближе к концу шкалы. Следовательно, вольтметром со шкалой, например, на 7,5 в и внутренним сопротивлением 15 000 ом (2 000 ом/в) можно измерять сопротивления от 1 500 до 150 000 ом, причем для этого потребуется батарея с напряжением в 7,5 в, а вольтметром со шкалой на 3 в и внутренним сопротивлением 30 000 ом (10 000 ом/в) — от 3 000 до 300 000 ом при напряжении батареи в 3 в.

Таким образом, для измерения сопротивлений небольшой величины лучше пользоваться вольтметром с небольшим внутренним сопротивлением, а для измерения больших сопротивлений — вольтметром с большим внутренним сопротивлением. Лучшие результаты в последнем случае дает вольтметр с большим числом ом на вольт, так как для него потребуется батарея с меньшим напряжением и, следовательно, с меньшим внутренним сопротивлением.

Приведенную выше формулу можно преобразовать так, чтобы она сразу давала зависимость показаний вольтметра от величины измеряемого сопротивления.

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot R_v}{R_x + R_v}.$$

Если при измерениях всегда применять батарею с одним и тем же напряжением, то по этой формуле можно заранее подсчитать, сколько вольт будет показывать вольтметр при измерении того или иного сопротивления, и на основании этих расчетов построить график зависимости этих показаний от величины измеряемого сопротивления. Этот график в дальнейшем позволит сразу определить величину измеряемого сопротивления, не прибегая к вычислениям. Например, пусть имеется вольтметр со шкалой на 5 в и внутренним сопротивлением  $R_v = 5\,000\text{ ом}$ . Если при измерениях сопротивлений пользоваться батареей напряжением в 4,5 в (3 сухих элемента), то при замыкании контактов 1 и 2 накоротко вольтметр всегда будет показывать напряжение  $U_1 = 4,5\text{ в}$ .

Подставляя эти величины в формулу, получим:

$$U_2 = \frac{4,5 \cdot 5\,000}{R_x + 5\,000} = \frac{22\,500}{R_x + 5\,000}.$$

Пользуясь этим выражением, произведем расчет показаний вольтметра при различных величинах измеряемых сопротивлений:

$$\text{при } R_x = 500\text{ ом}, U_2 = \frac{22\,500}{500 + 5\,000} = 4,1\text{ в};$$

$$\text{при } R_x = 1\,000\text{ ом}, U_2 = \frac{22\,500}{1\,000 + 5\,000} = 3,75\text{ в}.$$

Продолжая расчет подобным же образом, определим показания вольтметра при присоединении еще нескольких сопротивлений. Результаты расчета приведены в табл. 5, а полученный на основании этой таблицы график показан на фиг. 46.

ТАБЛИЦА 5

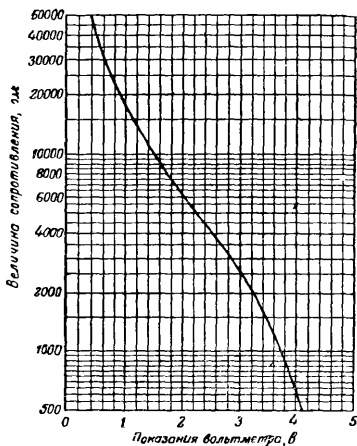
Показания вольтметра в зависимости от величины измеряемого сопротивления

$R_x,$ ом	0	500	1000	2000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
$U_2,$ в	4,5	4,1	3,75	3,22	2,25	1,5	0,9	0,64	0,5	0,41



Пользуясь этим графиком, можно определять величину сопротивления при любом показании вольтметра.

При пользовании графиком нужно помнить, что он верен только для вполне определенного напряжения батареи. При изменении этого напряжения показания вольтметра не будут соответствовать указанным на графике



Фиг. 46. График градуировки, построенный по данным табл. 5.

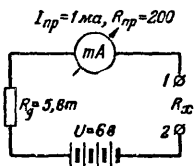
величинам сопротивлений. Поэтому перед измерениями нужно, замкнув накоротко зажимы 1 и 2, убедиться, что батарея дает нормальное напряжение.

**Омметр.** Вычисленные по приведенной выше формуле значения показаний вольтметра можно отметить на его шкале соответствующими значениями величин измеряемых сопротивлений, т. е. на шкалу вольтметра можно нанести градуировку непосредственно в значениях величин измеряемых им сопротивлений. Необходимость пользования графиком тогда отпадает, и величину измеряемого сопротивления можно будет прочесть непосредственно по шкале прибора.

Внешний вид такой шкалы показан на фиг. 47. Деления на ней нанесены по данным расчета в предыдущем примере. При замкнутых накоротко зажимах 1 и 2, т. е. при величине измеряемого сопротивления, равной нулю, вольтметр будет показывать полное напряжение батареи; следовательно, соответствующее этому напряжению деление на шкале омов должно быть помечено как нулевое. При разомкнутых зажимах, что соответствует присоединению к ним сопротивления бесконечно большой величины, стрелка вольтметра отклоняться не будет и останется на нуле; следовательно, нулевое деление шкалы вольтметра



Фиг. 47. Шкала отсчета величин сопротивлений по шкале вольтметра.



Фиг. 48. Схема омметра.

будет соответствовать бесконечно большой величине измеряемого сопротивления, почему это деление и помечено знаком  $\infty$  (бесконечность). Остальные деления шкалы омов наносятся в точках, до которых отклоняется стрелка при измерении соответствующего сопротивления. Эти деления располагаются на шкале неравномерно, поэтому точность отсчета по ней будет зависеть от величины измеряемого сопротивления.

Отметим еще раз, что величины сопротивлений, которые можно измерять при помощи вольтметра с достаточной для практики точностью, должны составлять не менее 0,1 от величины внутреннего сопротивления вольтметра и не более чем в 10 раз превышать его.

Нанеся на шкалу вольтметра градуировку в омах, мы превратили его в прибор для измерения сопротивлений. Такие приборы называются омметрами.

Омметр может быть сделан не только из вольтметра, но и из миллиамперметра, если последовательно с ним включить добавочное сопротивление и тем самым превратить его в вольтметр (фиг. 48). Предел измерения этого

вольтметра по напряжению делается всегда равным напряжению батареи, для чего величина добавочного сопротивления  $R_d$  подбирается так, чтобы стрелка прибора при замыкании зажимов 1 и 2 накоротко отклонилась на всю шкалу. Тогда градуировку в омах можно нанести на протяжении всей шкалы прибора, что увеличит точность отсчета по ней. Величины сопротивлений, которые можно измерять таким вольтметром, определяются величиной внутреннего сопротивления вольтметра, состоящего из внутреннего сопротивления прибора  $R_{пр}$  и добавочного сопротивления  $R_d$ . Как мы знаем, величина внутреннего сопротивления вольтметра зависит от предела измерения по току применяемого в нем прибора, поэтому прибор для изготовления омметра должен выбираться в соответствии с величинами сопротивлений, которые желательно им измерять.

Наибольшая величина сопротивления, которую с достаточной для практики точностью можно измерить омметром, может быть вычислена по формуле

$$R_{x \text{ макс}} = \frac{10U}{I_{пр}},$$

где  $R_{x \text{ макс}}$  — наибольшая величина сопротивления в тысячах *ом*, которую можно измерять омметром;

$U$  — напряжение батареи омметра в *в*;

$I_{пр}$  — предел измерения прибора по току в *ма*.

Значения наибольших величин сопротивлений, которые можно измерять при помощи того или иного прибора, приведены в табл. 6.

ТАБЛИЦА 6

Наибольшие величины сопротивлений (в тысячах *ом*), которые можно измерять омметром в зависимости от предела измерения прибора по току и напряжения батареи

$I_{пр}, \text{ ма}$	Напряжение батареи, <i>в</i>									
	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	10,0	15,0	30,0	60,0	90
0,1	150	300	450	600	750	1 000	1 500	3 000	6 000	9 000
0,3	50	100	150	200	250	333	500	1 000	2 000	3 000
0,5	30	60	90	120	150	200	300	600	1 200	1 800
1,0	15	30	45	60	75	100	150	300	600	900
1,5	10	20	30	40	50	66	100	200	400	600
3,0	5	10	15	20	25	33	50	100	—	—
5,0	3	6	9	12	15	20	30	—	—	—
7,5	2	4	6	8	10	13,3	—	—	—	—
10,0	1	3	4,5	6	7,5	10	—	—	—	—

Значение наименьшей величины сопротивления, которую можно измерить омметром, находится по формуле

$$R_{x \text{ мин}} = \frac{R_{x \text{ макс}}}{100},$$

где  $R_{x \text{ макс}}$  и  $R_{x \text{ мин}}$  — соответственно наибольшая и наименьшая величины измеряемых омметром сопротивлений в тысячах *ом*.

**Расчет омметра.** Для расчета омметра нужно прежде всего задаться величинами сопротивлений  $R_{x \text{ макс}}$  или  $R_{x \text{ мин}}$ . Кроме того, должны быть известны предел измерения по току и величина внутреннего сопротивления прибора, который предполагается использовать для омметра.

Предположим, что у нас имеется прибор с пределом измерения по току  $I_{пр} = 1 \text{ ма}$  и внутренним сопротивлением  $R_{пр} = 200 \text{ ом}$ . Величина сопротивления  $R_{x \text{ макс}}$  должна быть равна примерно 50 000 — 60 000 *ом*.

Определим напряжение необходимой для омметра батареи по формулам

$$U = \frac{I_{пр} \cdot R_{x \text{ макс}}}{10}, \text{ или } U = 100 R_{x \text{ мин}} \cdot I_{пр},$$

где  $U$  — искомое напряжение батареи в *в*;

$I_{пр}$  — предел измерения по току прибора в *ма*;

$R_{x \text{ макс}}$  или  $R_{x \text{ мин}}$  — соответственно наибольшая и наименьшая величины измеряемых сопротивлений в тысячах *ом*.

Для нашего случая:

$$U = \frac{1 \cdot 50}{10} = 5 \text{ в.}$$

Составим эту батарею из четырех сухих элементов, напряжение ее будет равно 6 *в*. Тогда наибольшая величина сопротивления, которая при этом может быть измерена омметром, будет равна

$$R_{x \text{ макс}} = \frac{10U}{I_{пр}} = \frac{10 \cdot 6}{1} = 60\,000 \text{ ом},$$

что соответствует заданной величине.

Далее определим величину добавочного сопротивления  $R_0$ , которая может быть найдена по формуле

$$R_0 = \frac{U}{I_{np}} - R_{np},$$

где  $R_0$  — искомая величина добавочного сопротивления в тысячах ом;

$U$  — напряжение батареи в в;

$I_{np}$  — предел измерения прибора по току в мА;

$R_{np}$  — внутреннее сопротивление прибора в тысячах ом;

В нашем случае

$$R_0 = \frac{6}{1} - 0,2 = 5\,800 \text{ ом}.$$

Схема рассчитанного омметра приведена на фиг. 48.



Фиг. 49. Шкала омметра.

**Градировка шкалы.** Градировку шкалы омметра можно выполнить, определив расчетным путем показания прибора в зависимости от величины измеряемого сопротивления. Этот расчет производится по формуле

$$I = \frac{U}{R_x + R_0 + R_{np}},$$

где  $I$  — показания прибора в мА при измерении сопротивления  $R_x$ ;

$U$  — напряжение батареи в в;

$R_0$ ,  $R_x$  и  $R_{np}$  — соответственно величины добавочного и измеряемого сопротивлений и внутреннего сопротивления прибора в тысячах ом.

Найденные по этой формуле показания прибора при различных величинах измеряемых сопротивлений наносятся в омах против соответствующих делений его шкалы.

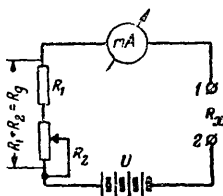
Внешний вид рассчитанной таким образом шкалы омметра показан на фиг. 49.

Само собой понятно, что такую градуировку можно выполнить и без расчетов, отмечая отклонения стрелки прибора при подключении к зажимам известных сопротивлений. Для этой цели можно воспользоваться сопротивлениями с допуском  $\pm 5\%$ , или, если удастся достать, еще более точными. Для большей точности желательно подключать к зажимам поочередно несколько сопротивлений, с одинаковой маркировкой по величине, отмечая при этом отклонения стрелки для каждого из них, а затем нанести на шкалу риску, соответствующую среднему из полученных показаний.

**Установка на нуль.** При пользовании омметром нужно помнить, что градуировка его шкалы верна только при нормальном напряжении батареи. Поэтому перед измерениями нужно всегда убедиться, что батарея дает нормальное напряжение, показателем чего является отклонение стрелки до нуля по шкале омов (т. е. на всю шкалу прибора) при замыкании накоротко зажимов 1 и 2.

Недостатком описанной выше схемы омметра является то, что даже при незначительном изменении напряжения батареи (в частности, при уменьшении его вследствие разряда) стрелка прибора не будет устанавливаться на нуль шкалы омов, вследствие чего правильный отсчет величины измеряемого сопротивления по этой шкале будет невозможен. Для устранения этого недостатка прибегают к разделению добавочного сопротивления на две части, одну из которых делают переменной по величине (фиг. 50).

Если при полностью введенном сопротивлении  $R_2$  стрелка прибора при замыкании зажимов 1 и 2 накоротко отклоняется до нуля шкалы омов, то это означает, что напряжение батареи нормально и градуировка шкалы верна. Если же стрелка не доходит до нуля, то для восстановления правильной градуировки уменьшают величину сопротивления  $R_2$  настолько, чтобы при замкнутых зажимах стрелка вновь стала бы на нулевое деление шкалы.

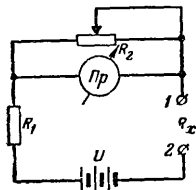


Фиг. 50. Схема омметра с сопротивлением для установки нуля.

Нужно отметить, что восстановить градуировку таким способом можно лишь тогда, когда напряжение батареи понижено не более чем на 10% от нормального. Поэтому величина сопротивления  $R_2$  должна составлять не более 10% от величины общего сопротивления  $R_1 + R_2 = R_0$ . В этом случае при уменьшении напряжения батареи больше чем на 10% стрелку прибора нельзя будет установить на нуль даже при полностью выведенном сопротивлении  $R_2$ , что будет свидетельствовать о непригодности батареи к дальнейшей работе.

В рассчитанном нами омметре (фиг. 48) сопротивление  $R_0 = 5800 \text{ ом}$  должно быть составлено из двух сопротивлений:  $R_1 = 5300 \text{ ом}$  (постоянного) и  $R_2 = 500 \text{ ом}$  (переменного).

Омметр с установкой нуля при помощи параллельного сопротивления. На фиг. 51 изображена схема омметра, отличающаяся от схемы фиг. 50 тем, что сопротивление для установки стрелки на нуль включено не последовательно с прибором, а параллельно ему. Величина этого сопротивления должна превышать величину внутреннего сопротивления прибора в 10—20 раз. Величина, добавочного сопротивления  $R_1$  подбирается так, чтобы при введенном приблизительно на половину сопротивлении  $R_2$  стрелка прибора при замыкании зажимов 1 и 2 накоротко отклонялась бы до нуля шкалы омов. Необходимая величина сопротивления



Фиг. 51. Схема омметра с параллельным сопротивлением для установки нуля.

сопротивления  $R_1$  может быть подсчитана и по формуле

$$R_1 = \frac{R_2}{2R_{np} + R_2} \cdot \left( \frac{U}{I_{np}} - R_{np} \right),$$

где  $U$  — напряжение батареи в в;

$I_{np}$  — предел измерения прибора по току в  $м\text{а}$ ;

$R_1$  — величина добавочного сопротивления в тысячах  $ом$ ;

$R_2$  — величина сопротивления для установки стрелки на нуль в тысячах  $ом$ ;

$R_{np}$  — величина внутреннего сопротивления прибора в тысячах  $ом$ .

При уменьшении напряжения батареи для установки стрелки прибора на нуль нужно увеличить передвижением ползунка величину сопротивления  $R_x$ . Тогда ток через прибор увеличится, а через сопротивление—уменьшится.

Показания омметра по этой схеме будут значительно меньше зависеть от изменения напряжения, чем в случае схемы фиг. 50.

Градуйровка шкалы этого омметра производится так же, как и омметра по схеме фиг. 50, но расчет показаний прибора производится по формуле

$$I = \frac{UR_2}{(R_x + R_1) \cdot (2R_{np} + R_2) + R_{np} \cdot R_2},$$

где  $I$ —показания прибора при включении сопротивления  $R_x$  в  $мa$ ;

$U$ —напряжение батареи в  $в$ ;

$R_1$ —величина добавочного сопротивления в тысячах  $ом$ ;

$R_2$ —величина сопротивления для установки на нуль в тысячах  $ом$ ;

$R_x$ —величина измеряемого сопротивления в тысячах  $ом$ ;

$R_{np}$ —величина внутреннего сопротивления прибора в тысячах  $ом$ .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ ПО ТОКУ

Ниже излагаются способы определения величин внутреннего сопротивления миллиамперметра и вольтметра, а также предела измерения вольтметра по току, причем для этой цели используются сами же измеряемые приборы. Способы эти приближенные; поэтому пользоваться ими следует только в случае невозможности измерить эти величины с помощью других приборов.

**Определение внутреннего сопротивления миллиамперметра.** В цепь, составленную из источника тока и сопротивления  $R_1$ , величина которого должна быть известна, включается миллиамперметр, величину внутреннего сопротивления которого нужно определить (фиг. 52), и отмечается величина тока, которую он при этом показывает. Обозна-



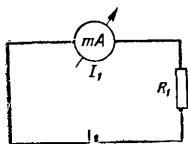
чим этот ток через  $I_1$ . Затем вместо сопротивления  $R_1$  включается сопротивление  $R_2$ , величина которого должна быть также известна, и вновь отмечается ток через миллиамперметр (обозначим его через  $I_2$ ). Тогда величина внутреннего сопротивления миллиамперметра вычисляется по формуле

$$R_{np} = \frac{I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1}{I_1 - I_2},$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — показания прибора в  $мА$  при подсоединении сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ ;

$R_1$  и  $R_2$  — величины сопротивлений в  $ом$ ;

$R_{np}$  — величина внутреннего сопротивления миллиамперметра в  $ом$ .



Фиг. 52. Определение величины внутреннего сопротивления миллиамперметра.

Определим величину внутреннего сопротивления миллиамперметра, который при включении сопротивления  $R_1 = 1000$   $ом$  показал ток  $I_1 = 1$   $мА$ , а при включении сопротивления  $R_2 = 2800$   $ом$  — ток  $I_2 = 0,4$   $мА$ . Пользуясь приведенной выше формулой, находим:

$$R_{np} = \frac{0,4 \cdot 2800 - 1 \cdot 1000}{1 - 0,4} = 200 \text{ } ом.$$

При этих измерениях величины сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  следует подбирать так, чтобы при включении  $R_1$  стрелка прибора отклонялась возможно ближе к концу шкалы, а при  $R_2$  — меньше ее половины. Разумеется, величины этих сопротивлений должны быть известны возможно более точно, поэтому класс точности их должен быть возможно более высоким.

В качестве источника тока при измерениях лучше применять свежезаряженный аккумулятор (1 банка) или свежий сухой элемент по возможности большой емкости. Применение недостаточно свежего источника может привести, вследствие его значительного внутреннего сопротивления, к большим ошибкам в определении величины  $R_{np}$ .

По этой же причине нежелательно использование батарей аккумуляторов или элементов. При соблюдении всех указанных условий этот способ позволяет измерять внутреннее сопротивление приборов со шкалой не более чем на

10 *ма*, с точностью порядка 3—5%, что для радиолюбительских условий вполне достаточно. Для измерения внутреннего сопротивления приборов на большой ток этот способ непригоден.

**Определение внутреннего сопротивления вольтметра и предела измерения по току применяемого в нем прибора.** Для определения внутреннего сопротивления вольтметра измеряют напряжение батареи или выпрямителя. Пусть напряжение, показанное вольтметром, равно  $U_1$ . Затем последовательно с вольтметром включают сопротивление  $R$  (величина которого должна быть известна) и вольтметр вместе с этим сопротивлением вновь подключают к батарее или выпрямителю (фиг. 53) и отмечают показанное вольтметром напряжение  $U_2$ .

Величина внутреннего сопротивления вольтметра определяется по формуле

$$R_s = \frac{U_1}{\frac{U_1}{U_2} - 1} R,$$

где  $R_s$  — величина внутреннего сопротивления вольтметра в тысячах *ом*;

$R$  — величина сопротивления, включенного последовательно с вольтметром, в тысячах *ом*;

$U_1$  и  $U_2$  — напряжения, показанные вольтметром при первом и втором измерениях, в *в*.

Зная внутреннее сопротивление вольтметра, предел измерения его прибора по току можно определить по формуле

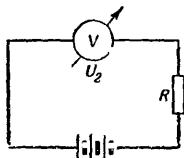
$$I_{np} = \frac{U_s}{R_s},$$

где  $I_{np}$  — предел измерения прибора по току в *ма*;

$U_s$  — предел измерения вольтметра по напряжению в *в*;

$R_s$  — внутреннее сопротивление вольтметра в тысячах *ом*.

**Пример.** Вольтметр со шкалой  $U_s = 5$  *в* показал напряжение  $U_1 = 4,5$  *в* и при включении последовательно с ним сопротивления



Фиг. 53. Определение величины внутреннего сопротивления вольтметра.

$R = 12\,500$  ом, — напряжение  $U_2 = 2$  в. Тогда внутреннее сопротивление вольтметра равно

$$R_v = \frac{12,5}{\frac{4,5}{2} - 1} = 10\,000 \text{ ом.}$$

Предел измерения прибора вольтметра по току равен

$$I_{пр} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ ма.}$$

При этих измерениях величину сопротивления  $R$  нужно брать такой, чтобы при его подсоединении стрелка вольтметра отклонялась бы меньше, чем на половину шкалы. Класс точности этого сопротивления должен быть возможно выше. Напряжение батареи или выпрямителя должно быть близким к пределу измерения вольтметра. Батарея обязательно должна быть свежей, а выпрямитель иметь достаточную мощность (ток в несколько десятков миллиампер). При несоблюдении этого условия величина  $R_v$  будет определена с большой погрешностью.
















Указанным способом можно измерять величину внутреннего сопротивления вольтметров с сопротивлением не ниже  $200$  ом/в. Для более низкоомных приборов этот способ непригоден.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ


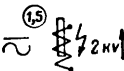
Выше нами были описаны некоторые типы простых измерительных приборов и даны указания по их использованию для простейших, наиболее необходимых для радиолюбителя измерений.

Описанию более сложных приборов и способов измерений посвящен целый ряд книг «Массовой радиобиблиотеки» и статей в журнале «Радио», к которым мы и отсылаем читателя. Таковы, например, книги Р. М. Малинина «Самодельные омметры и авометры» и «Самодельная измерительная аппаратура» (вып. 22 и 20), В. В. Енютина «Как произвести настройку и испытание приемника при помощи сигнал-генератора» (вып. 62), К. Д. Осипова «Ламповый вольтметр» (вып. 64), а также ряд книг, посвященных описанию измерительных приборов, экспонировавшихся на заочных радио-выставках.

# НЕКОТОРЫЕ НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ШКАЛАХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение
	Прибор магнитоэлектрической системы с противодействующей силой		Прибор для измерения постоянного тока
	Прибор электромагнитной системы с противодействующей силой		Прибор для измерения переменного тока
	Прибор тепловой системы		Прибор для измерения постоянного и переменного тока
	Ламповая (электронная) система		Вертикальное положение прибора при измерении
	Магнитоэлектрический прибор с детекторным преобразователем переменного тока в постоянный		Горизонтальное положение прибора при измерении
	Магнитоэлектрический прибор с контактным термоэлектрическим преобразователем		Наклонное положение прибора (например, под углом в 60°)
	Прибор электродинамической системы		Изоляция прибора испытана напряжением 2 000 в
			Класс точности прибора (например, 1,5)

## Примеры обозначений на шкалах

	Прибор магнитоэлектрической системы для измерения постоянного тока, класс точности 0,5, горизонтальное положение, изоляция испытана напряжением 1 500 в
	Прибор электромагнитной системы для измерения постоянного и переменного тока, класс точности 1,5, вертикальное положение, изоляция испытана напряжением 2 000 в

На шкалах приборов с отдельным добавочным сопротивлением или с наружным шунтом делаются надписи: «с отдельным добавочным сопротивлением» или «с наружным шунтом».

# ДАННЫЕ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ СОПРОТИВЛЕНИЙ

## Сопротивления типа ВС

Тип	Номинальная мощность рассеяния, <i>вт</i>	Диапазон номинальных значений, <i>ом</i>	Максимальное расчетное напряжение, <i>в</i>	Примечание
ВС-0,25	0,25	51—5,1·10 <sup>3</sup>	250	Сопротивления до 1000 <i>ом</i> и свыше 2 <i>мгом</i> по первому классу точности не выпускаются
ВС-0,5	0,5	51—10·10 <sup>3</sup>	450	
ВС-1,0	1,0	51—10·10 <sup>6</sup>	500	
ВС-2,0	2,0	51—10·10 <sup>6</sup>	750	
ВС-5,0	5,0	51—10·10 <sup>6</sup>	750	
ВС-10,0	10	100—10·10 <sup>6</sup>	1500	

## Проволочные сопротивления СПЭ

Тип	I	II	III	IV	V	VI	Тип	I	II	III	IV	V	VI
Сопротивление, <i>ом</i>	Ток нагрузки, <i>ма</i>						Сопротивление, <i>ом</i>	Ток нагрузки, <i>ма</i>					
50	550	680	750	1 000	1 310	1 750	1 500	100	120	135	180	240	310
60	—	620	—	900	1 200	—	1 750	—	—	125	175	—	—
70	450	550	610	800	1 000	1 400	2 000	85	105	120	155	210	275
90	—	—	—	—	970	—	2 500	75	95	105	140	185	240
100	385	480	525	710	930	1 200	3 000	70	88	95	130	170	225
125	350	430	480	630	825	1 100	3 500	65	80	90	120	155	200
150	310	400	430	580	770	1 000	4 000	62	75	85	110	145	195
175	280	370	400	530	700	940	4 500	58	70	78	—	135	—
200	270	330	370	500	650	800	5 000	55	60	75	100	130	175
250	240	—	350	440	580	760	5 500	—	—	—	—	125	—
300	220	280	300	400	530	700	7 500	—	—	—	80	110	—
350	210	260	280	375	500	650	9 000	—	—	—	75	—	—
400	190	240	260	350	460	610	10 000	—	—	—	70	—	120
500	170	210	235	310	420	550	12 500	—	—	—	65	80	—
600	160	195	215	290	380	500	15 000	—	—	—	55	75	100
700	145	180	200	265	350	460	20 000	—	—	—	—	65	85
750	—	—	190	255	—	—	25 000	—	—	—	—	50	—
800	135	170	185	250	330	420	30 000	—	—	—	—	—	70
900	130	160	175	230	310	400	40 000	—	—	—	—	—	60
1 000	120	150	165	225	300	385	50 000	—	—	—	—	—	55
1 250	—	—	150	200	260	—	—	—	—	—	—	—	—

# ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, дом 10

## МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

*Под общей редакцией академика А. И. БЕРГА*

### **ПЕЧАТАЮТСЯ и в ближайшее ВРЕМЯ ПОСТУПАТ В ПРОДАЖУ**

БЕКТАБЕГОВ А. К. и ЖУК М. С., Граммофонные звукозаписи.

ВЕТЧИНКИН А. Н., Простейшие сетевые приемники.

ЛОГИНОВ В. Н., Радиотелеуправление.

Приемники на любительской выставке (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки).

РАБЧИНСКАЯ Г. И., Радиотехнические материалы.

Радиолюбительская аппаратура в народном хозяйстве (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки).

### **ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ**

Измерительные генераторы и осциллографы (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 72 стр., ц. 2 р. 25 к.

Коротковолновая любительская аппаратура (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 48 стр., ц. 1 р. 50 к.

Любительские батарейные радиоприемники (Сборник схем и конструкций). 112 стр., ц. 3 р. 50 к.

ОСИПОВ К. Д., Электронно-лучевой осциллограф. 64 стр., ц. 2 р.

Разная радиотехническая аппаратура (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 24 стр., ц. 75 к.

СЕННИЦКИЙ В. П., Самодельные гальванические элементы. 64 стр., ц. 2 р.

Телевидение на любительской выставке (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 72 стр., ц. 2 р. 25 к.

Учебно-наглядные пособия (Экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 40 стр., ц. 1 р. 25 к.

**Продажа во всех книжных магазинах  
и КИОСКАХ СОЮЗПЕЧАТИ**